LIBRI DI BASE

ELETTRONICA

STRUMENTI DI MISURA

GRUPPO EDITORIALE JACKSON

LIBRI DI BASE

ELETTRONICA

STRUMENTI DI MISURA

GRUPPO EDITORIALE
JACKSON

Direttore responsabile :
Paolo Reina

Direttore di divisione :
Roberto Pancaldi

Supervisore dell'opera :
Fosco Bellomo

Coordinamento editoriale :
Renata Rossi

Copertina :
Sergio Mazzali

Fotolito :
3C - Milano

Stampa :
GRAFICA 85 - Rodano Millepini

Distribuzione :
Sodip - Milano

Tutti i diritti di riproduzione e pubblicazione di disegni, fotografie e testi sono riservati.

© Gruppo Editoriale Jackson - 1988

Aut. alla pubblicazione n° 793 del 30/11/1987
(autorizzazione della Direzione Provinciale delle PPTT di Milano)

INDICE

Capitolo 1

5 Misure e apparecchi di misura

Capitolo 2

19 L'amperometro

Capitolo 3

31 Il voltmetro

Capitolo 4

43 Misure di resistenze

Capitolo 5

49 Il tester

Capitolo 6

69 Costruzione di un tester

Capitolo 7

75 Generatori di segnali

Capitolo 8

93 Altri strumenti di misura

Capitolo 9

123 Generatori video

CAPITOLO 1

MISURE E APPARECCHI DI MISURA

In elettronica si utilizzano costantemente i concetti di *segnale*, di *frequenza*, di *rumore*, di *decibel*, di *millivolt*, di *valore di picco*. Tutti hanno una loro definizione teorica, che si è sempre cercato di esplicare nel modo più semplice possibile. Ma tutti questi concetti, unitamente ai loro parametri, sono definizioni astratte o hanno una reale esistenza, palpabile, misurabile?

L'elettronica, come branchia della Fisica, è sperimentale; come in tutti i campi della scienza, la teoria esiste perchè, dopo aver osservato una serie di fenomeni nella pratica, si è cercato di darne una spiegazione teorica.

L'insieme delle spiegazioni rappresenta la scienza in sé. In rare occasioni si è arrivati a scoprire solo con la teoria, un fenomeno reale non osservato in precedenza. Il cammino delle scienze sperimentali va sempre dall'effetto alla causa.

Cosa significa tutto ciò? Semplicemente che i decibel, il rumore, i millivolt esistevano già prima che gli venisse dato un nome, e pertanto non sono stati (non possono esserlo) qualcosa di fittizio che abbiamo inventato per noi; erano già presenti, e abbiamo dovuto solamente ingegnarci per renderli visibili. Le proprietà dell'aria che respiriamo quotidianamente sono rimaste occulte durante i secoli, e solo da poco più di cento anni l'Umanità si è resa conto del fatto che ha un proprio peso, si muove, varia la sua composizione con l'altura, ecc. E' sempre stata alla nostra portata, ma non si è mai capito che bastava applicare alcuni semplici concetti per valutarne tutte le proprietà.

Capito che le grandezze elettriche erano elementi già esistenti in natura, si è solo dovuto inventare il modo per riconoscerle (e successivamente misurarle).

E' evidente che il senso più sviluppato nell'uomo è quello della vista (da cui la ricorrentissima frase "è evidente..."). Come prova, è sufficiente dire che

Fig. 1.-Gli apparecchi di misura si utilizzano in molteplici occassioni e in situazioni assai diverse. E' importante conoscere il loro funzionamento per ricavarne il massimo rendimento.

tutti i colori hanno un nome; tuttavia, quanti suoni e odori lo hanno? Da quanto detto, l'udito è un organo molto più scarso, e presenta una gran quantità di parametri simili, per non parlare poi dell'olfatto e del gusto. Pertanto, la vista è l'elemento più appropriato per rivelare l'esistenza di qualcosa.

Manifestazione dei fenomeni elettrici

La corrente elettrica che fluisce in un filo conduttore, è in grado di manifestare la sua presenza in svariati modi. Per esempio, la forma più semplice

per constatare se una spina di casa nostra ha o no corrente (questa è una forma parlata), è quella di collegarle una lampadina; se questa si accende, si avrà prova che in essa passa una corrente elettrica. In questo caso la corrente si è manifestata sotto forma di luce.

Inoltre possiamo collegare una stufa elettrica; se si riscalda vorrà dire che circola una certa corrente. In questo caso la manifestazione della presenza della corrente è avvenuta sotto forma di calore. Se avviciniamo un ago magnetizzato (per esempio, quello di una bussola) ad un conduttore in cui circola corrente continua, possiamo osservare che questi tende a spostarsi. La corrente si è manifestata con un fenomeno di tipo magnetico. La luce della lampadina e il calore della stufa ci servono per evidenziare l'eventuale presenza della corrente elettrica.

Queste manifestazioni dell'energia sono mostrate in Fig. 2. Tuttavia risulterà difficile misurare la quantità o l'intensità della corrente che passa attraverso la lampadina o la stufa. Al contrario, se svolgiamo un esperimento scientifico dettagliato, possiamo osservare che la deviazione dell'ago magnetizzato dalla sua posizione di riposo è proporzionale alla corrente che circola nel cavo al quale è stato avvicinato.

Se solo tentiamo di aggiungere un indice e una scala graduata, abbiamo costruito il primo strumento di misura per la corrente elettrica.

Le misure

Un passo fondamentale per il corretto funzionamento di tutte le apparecchiature elettroniche, è la loro messa a punto. Questa operazione consiste nel

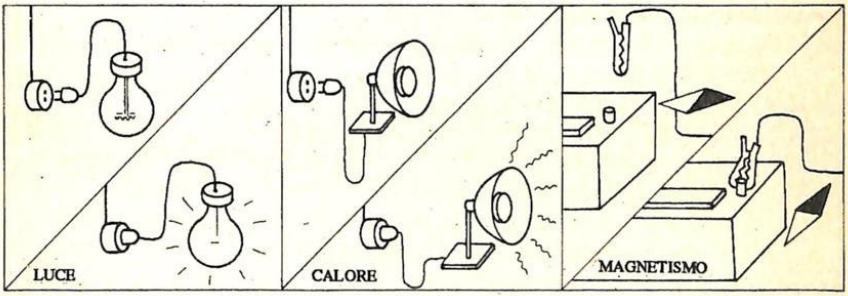


Fig. 2.-L'energia elettrica può manifestarsi in diversi modi. Le principali sono la luce, il calore e i fenomeni magnetici.

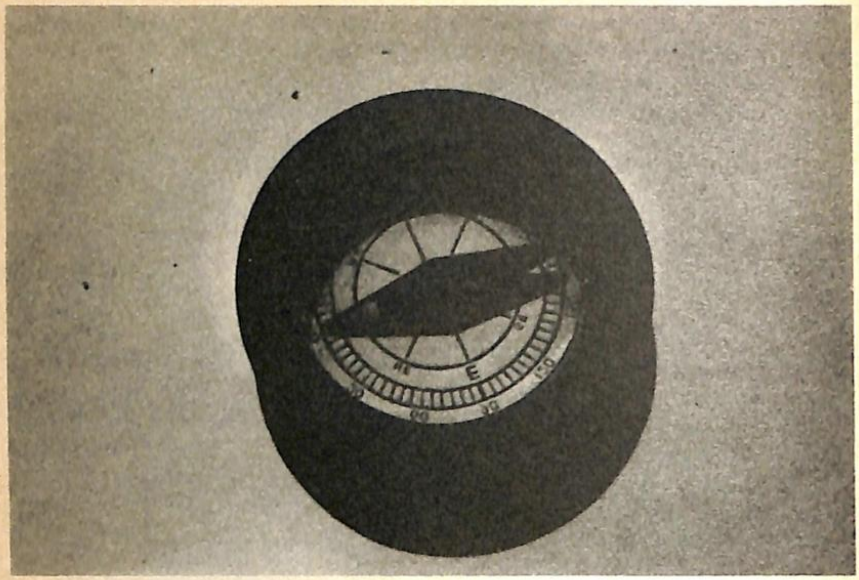


Fig. 3.-L'ago di una bussola si orienta in funzione del campo magnetico prodotto dalla terra.

regolare quegli elementi o stadi dell'apparecchiatura che fanno funzionare i distinti componenti, in un punto calcolato al momento del progetto degli stessi.

In molte occasioni, il *punto di funzionamento* non è critico, nel qual caso è fissato dai valori dei componenti stessi che formano il circuito. Il progettista si incarica di fornire tali valori, in modo che il complesso funzioni in modo soddisfacente entro i margini di tolleranza permessi da ciascun caso reale.

Altre volte, alcuni stadi di un circuito necessitano di essere regolati per un punto di funzionamento determinato, come una minima dissipazione, una riduzione delle distorsioni, un massimo rendimento, ecc. Tale punto non può essere raggiunto sempre senza regolazioni, a causa delle tolleranze nei valori dei singoli componenti.

Tolleranze

Così, per esempio, le resistenze che si possono trovare in commercio,

presentano delle *tolleranze* del ± 5% o ± 6%, e più raramente del ± 1% o ± 2%.

Questo significa che quando si acquista una resistenza di 10 KΩ con una tolleranza del ± 5%, il suo valore reale è compreso tra 10 KΩ - 5% = 9,5 KΩ, e 10 KΩ + 5% = 10,5 KΩ, e né il costruttore né il venditore possono assicurarci che una qualsiasi di queste, presa a caso, abbia un valore di 9871 Ω, che è il valore necessario per una determinata applicazione (anche se ne esiste in realtà qualcuna di tale valore).

Margini di tolleranza ancora maggiori sono presentati da alcuni semiconduttori. Così, per esempio, un transistor moderno di bassa frequenza può avere un *guadagno* di corrente compreso tra 100 e 500, margine molto ampio, che non ne permette l'utilizzo per la realizzazione di un determinato progetto in cui è necessario un valore di guadagno preciso.

In generale, un progetto si realizza tenendo presente questi termini di tolleranza, e utilizzando tecniche, come la reazione negativa, che fanno in modo che le caratteristiche di ogni singolo componente non influiscano più di tanto sul comportamento del complesso.

Non sempre questo è però possibile, per cui determinati circuiti devono consentire delle regolazioni individuali, in modo che il funzionamento corrisponda a quello calcolato. Questo è il caso, per citare alcuni esempi, dei ricevitori radio e televisivi, dei generatori di segnali, o degli stadi di uscita degli amplificatori audio.

Tutte quelle apparecchiature che richiedono regolazioni, vengono normalmente dotate di elementi variabili (come resistenze e condensatori variabili), in modo che il punto di lavoro possa essere stabilito il più vicino possibile a quello ottimale.

A questo punto possiamo porci due domande. Come si può sapere quale è il punto ottimale di funzionamento? E come si può raggiungerlo?

La regolazione

Alla prima domanda deve dare risposta il progettista del circuito, fornendo i dati necessari per arrivare a questo punto. Infatti, deve fornire la tensione, la corrente, la frequenza, la larghezza di banda o il parametro esatto al quale deve essere regolato il circuito (a volte sarà più di uno).

Queste sono informazioni che tutti coloro che si apprestano a montare un'apparecchiatura devono esigere, e nelle istruzioni di montaggio devono essere sempre incluse quelle di messa a punto (salvo naturalmente in quelle apparecchiature dove queste non siano necessarie, nel qual caso occorrerà verificare questo estremo).

Alla seconda domanda si può dare una sola risposta: con uno strumento

di misura. In pratica la discussione si sposta su quale o quali strumenti sono più adatti per tali regolazioni. E' evidente che, più sarà completa la strumentazione, più sarà precisa la regolazione.

Tuttavia, non sempre è necessario avere a disposizione un laboratorio di misura completo per ottenere delle buone regolazioni.

Possiamo garantire che nel 90 % dei casi queste regolazioni possono essere effettuate con un semplice tester (apparecchio capace di misurare almeno tensione, corrente e valori ohmici), per cui consigliamo a tutti coloro che desiderano affacciarsi, anche superficialmente, al mondo dell'elettronica, di acquistarne uno.

Per il rimanente 10 % dei montaggi, che richiedono regolazioni per le quali non è adatto il tester, possono essere usati alcuni altri strumenti, come un oscilloscopio, un generatore di segnali, un distorsiometro, ecc.

Senza dubbio, quanto più completa è la strumentazione dell'hobbysta, tanto più precise saranno le regolazioni ottenute, utilizzando, chiaramente, i metodi adeguati.

Il galvanometro

Lo strumento di misura più semplice, ed il primo storicamente ad essere utilizzato, è il *galvanometro*, il cui nome significa misura di fenomeni galvanici della corrente elettrica. Il suo principio di funzionamento si basa sull'interazione che si viene a produrre tra una corrente elettrica e un campo magnetico.

Supponiamo di realizzare una bobina con diverse spire, come mostrato in Fig. 4, in modo che possa ruotare liberamente sul suo asse. Questa bobina si trova all'interno di un campo magnetico, che può essere generato dai poli di una calamita.

Quando nell'avvolgimento non circola corrente, non esiste alcuna interazione, e la bobina è libera di ruotare in qualsiasi posizione.

Quando nella bobina si fa circolare una corrente elettrica, è sperimentalmente provato che questa ruota sul suo asse fino ad orientarsi in modo che il suo piano sia perpendicolare alle linee del campo magnetico.

La bobina può essere spostata da questa posizione di equilibrio, applicandole una piccola forza (con un dito, per esempio), ma comunque ritornerà sempre nella posizione precedente quando la sollecitazione viene a mancare. Si può provare che la forza che si deve applicare per modificare l'equilibrio della bobina, è direttamente proporzionale alla corrente che circola in essa (vedere Fig. 5).

Se si dispone di molle che obbligano la bobina a scegliere sempre un

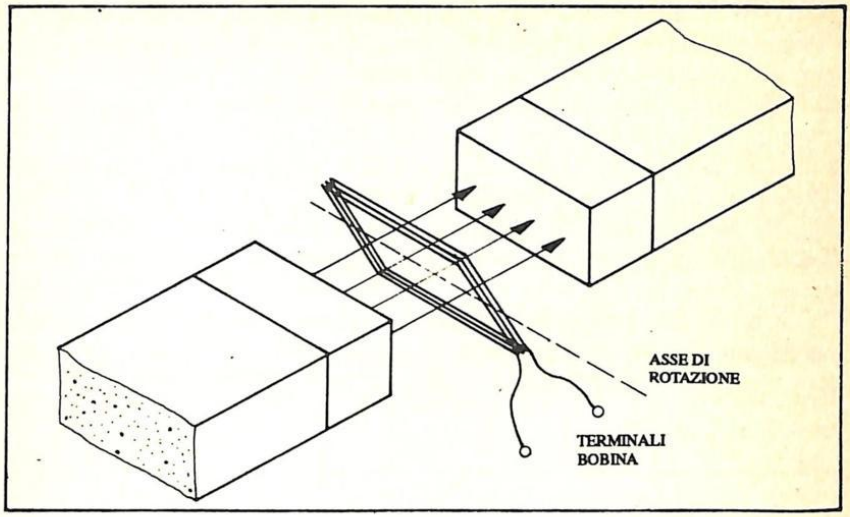


Fig. 4.-Bobina all' interno di un campo magnetico.

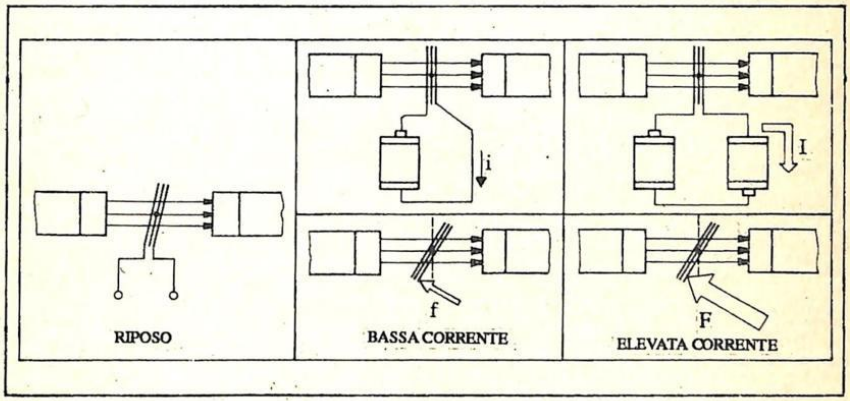


Fig. 5.-Effetto dell' intensità di corrente.

punto di riposo determinato, quando la si farà attraversare da una corrente tenderà a stabilizzarsi in una posizione tale che le forze delle molle (che tendono a farla tornare alla posizione originale) e quelle di interazione elettromagnetica (che tende a portarla in posizione perpendicolare rispetto al campo magnetico) si uguagliano, creando un equilibrio dinamico.

La nuova posizione di equilibrio sarà proporzionale all'intensità della corrente che circola nella bobina, restando più vicina alla posizione di riposo quanto più debole è la corrente, e più vicina alla perpendicolarità quanto più forte è la corrente che la attraversa.

Se alla bobina si fissa un ago che si sposti, solidalmente con la stessa, su di una scala, questa potrà essere graduata in modo che ciascuna delle sue divisioni corrisponda a un certo valore di intensità di corrente.

Così si sarà costruito un galvanometro a bobina mobile, chiamato anche a quadrante mobile, perchè la bobina è normalmente avvolta su di un nucleo

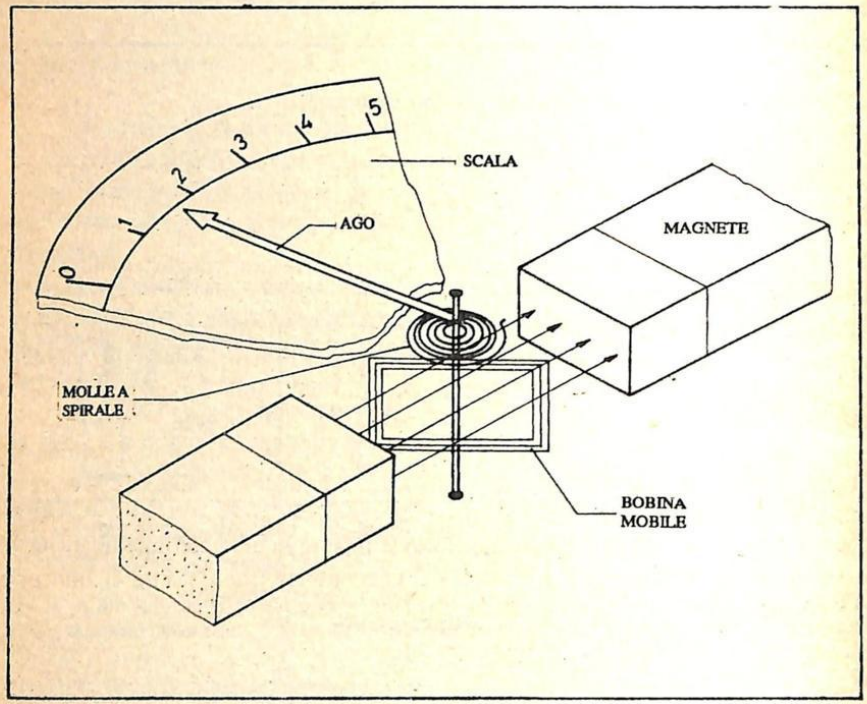


Fig. 6.-Galvanometro a bobina mobile.

di forma rettangolare o quadrata (vedere Fig. 6)

La forza elettromagnetica che fa ruotare la bobina, è proporzionale all'intensità di corrente che la percorre, al numero di spire che la formano, e all'intensità del campo magnetico che produce la calamita. Così, in una stessa bobina, quanto più potente è la calamita, maggiori deviazioni si conseguiranno con una determinata corrente, o potranno misurarsi correnti più deboli per una data deviazione.

Si ottiene lo stesso effetto aumentando il numero delle spire della bobina, anche se in questo caso entrano in gioco altri fattori che possono limitare il funzionamento meccanico del sistema, come le maggiori dimensioni del complesso mobile, o la sua inerzia per essere spostato e riportato al riposo o all'equilibrio.

Inoltre, entrano in gioco fattori elettrici, anch'essi da tenere in considerazione, come la resistenza elettrica presentata dalla bobina.

Così il numero delle spire è di solito un compromesso tra i diversi parametri che intervengono nel funzionamento.

Scale negli strumenti

Un determinato strumento, ha una *scala* con due estremi. Quello che corrisponde alla posizione di riposo sarà sempre lo *zero* di detta scala (corrispondente alla posizione dell'ago quando non circola corrente), mentre l'estremo opposto identificherà una misura conosciuta con il nome di valore di *fondo scala*.

Questo valore è la massima grandezza che lo strumento è in grado di misurare, e viene fissato con attenzione poichè, andando oltre, si supererebbe la perpendicolarità quadrante-campo magnetico, o meglio, perchè oltre questo punto la relazione tra l'angolo percorso dall'ago e l'intensità della corrente che circola nella bobina non è proporzionale, in seguito alle limitazioni imposte dalle molle che fanno tornare l'ago verso lo zero della scala.

Il valore di fondo scala è conosciuto anche come sensibilità dello strumento, risultando uno strumento tanto più sensibile quanto minore è la corrente che fa deviare l'ago fino a fondo scala.

La sensibilità di un galvanometro si misura in unità definite intensità, e si incontrano i valori più disparati, dai nanoampere (milionesimi di ampere), per apparecchiature da laboratorio, fino alle decine di milliampere negli apparecchi meno sensibili.

Valori correnti riscontrabili in commercio vanno da 0,1 a 1 milliampere.

Misure in corrente alternata

Fino a questo momento si sono solo considerate misure di grandezze elettriche di valore costante (o variabili molto lentamente, in modo che le variazioni potessero essere seguite dall'ago del galvanometro); queste sono misure in *corrente continua* (abbreviato in inglese in Dc, da Direct Current).

Le misure delle stesse grandezze, quando queste variano in modo molto rapido, non possono essere effettuate con un semplice galvanometro (segnerebbe sempre zero).

Queste sono misure in *corrente alternata* (in inglese AC, da Alternating Current).

Il termine corrente alternata è molto ampio e ambiguo. Con questo termine possono essere comprese svariate forme di variazione di una corrente o di una tensione elettrica, con l'unica condizione che il valore medio di tali forme d'onda sia nullo (da quì il nome di alternata, perchè una volta è positiva e l'altra è negativa, risultando in media di valore nullo).

Per questo motivo, esistono forme d'onda tra loro molto dissimili, come i segnali audio e la tensione della rete di distribuzione dell'energia elettrica, le onde radio, le onde quadre, ecc.

Di una forma d'onda qualsiasi, tre sono i valori che interessano: il suo valore medio, quello di picco, e quello efficace.

Il *valor medio*, dà l'idea delle variazioni che presenta l'onda rispetto ad un punto di riferimento prestabilito (che normalmente è quello chiamato zero).

Così, l'altezza media di un terreno rispetto al livello del mare (riferimento zero) definisce l'altezza che, in media, si incontra in tale terreno. In cambio, l'altezza media delle onde del mare deve essere, evidentemente, zero quando il riferimento è proprio livello del mare (la qual cosa non è come dire che la loro altezza è zero).

Questi due casi si incontrano molto frequentemente nelle variazioni elettriche, e sono mostrati in Fig. 7.

Il *valore di picco* dà l'idea dell'ampiezza massima che ha tale forma d'onda. In questo modo, l'altezza del terreno può essere mediamente bassa (per esempio, 100 metri sopra il livello del mare), però presenta punte isolate elevate (per esempio, una collina di 800 metri di altezza).

Infine il *valore efficace* dà l'idea dell'energia che è in grado di fornire la forma d'onda.

Così due correnti elettriche possono avere lo stesso valore medio e uguale ampiezza di picco, e tuttavia, una è in grado di accendere una lampadina e l'altra no.

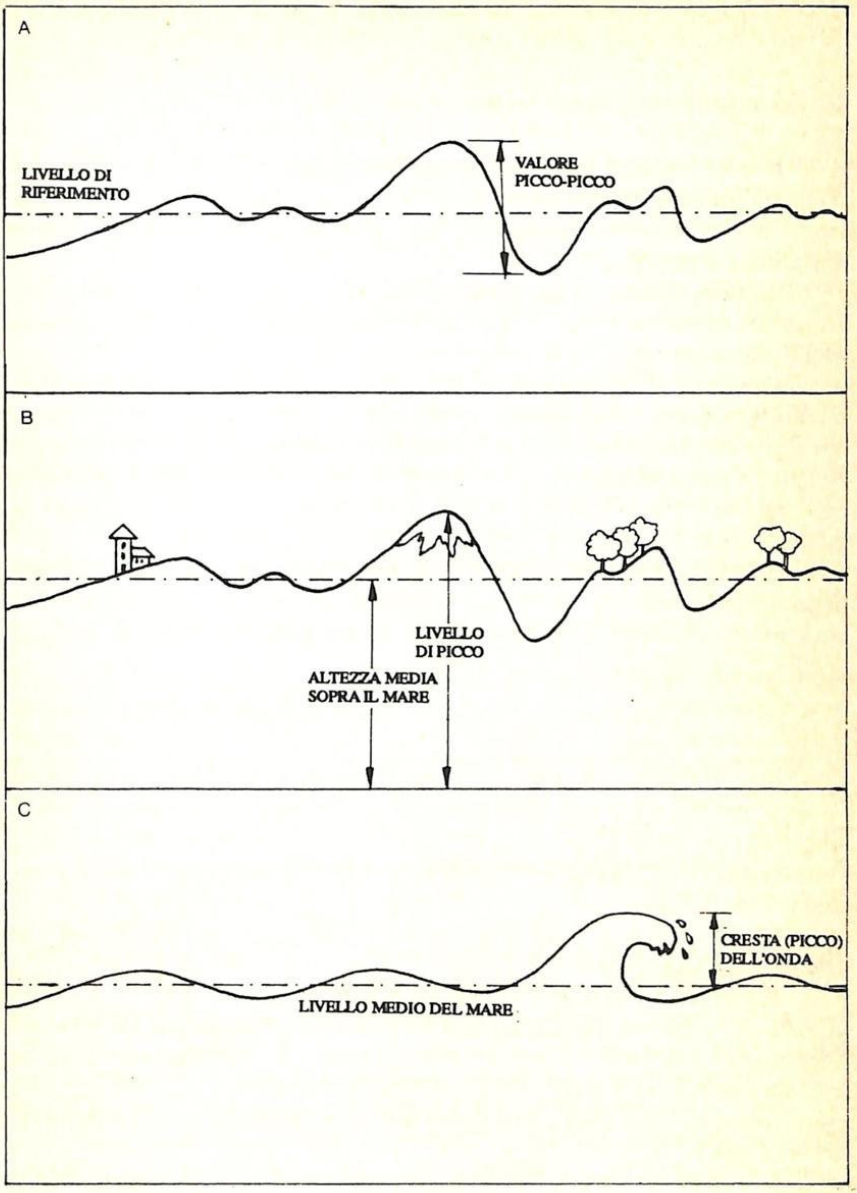


Fig. 7. - Le forze d'onda variabili hanno una grossa somiglianza con i profili del terreno, o con il profilo verticale della superficie del mare.

Quest'ultima presenterà un valore efficace minore rispetto alla prima.

Misura dei valori medi, efficaci e di picco

Il valor medio di una forma d'onda può essere misurato con un apparecchio utilizzato per la corrente continua. Non sarà in grado di seguirne le variazioni, però ci indicherà la *media* di tali variazioni (supponendo che non sia nulla, chiaramente).

Il valore efficace di una forma d'onda qualsiasi è molto difficile e complicato da misurare, e sono necessari strumenti molto precisi e dal progetto molto elaborato per una sua corretta misura.

Viceversa, il valore di picco di un segnale è molto semplice da misurare. Bisogna avere a disposizione solamente un *raddrizzatore* (componente o circuito elettronico che converte le variazioni d'onda in variazioni di direzione fissa) e un *condensatore*. La misura della carica del condensatore (o della tensione che è presente ai suoi terminali) ci fornisce il valore di picco del segnale considerato. Questo schema è mostrato in Fig. 8.

Disgraziatamente il valore di picco non interessa molto, salvo casi molto particolari (come per esempio, il segnale di incisione di un magnetofono), ma interessa piuttosto il valore efficace, dal quale si ottengono più informa-

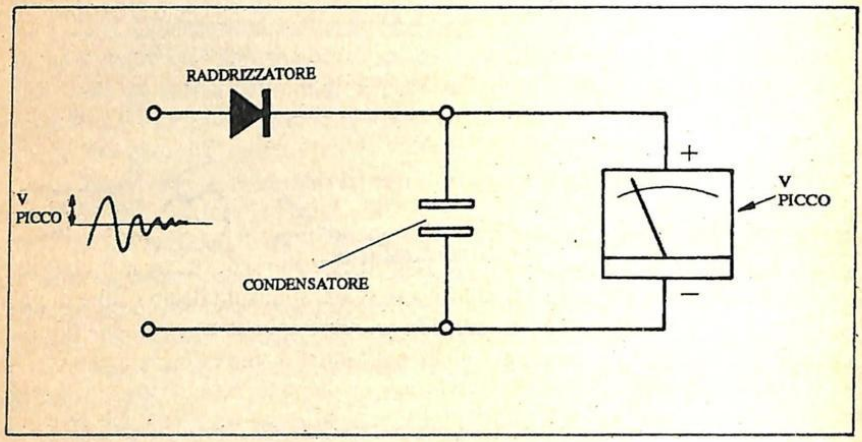


Fig. 8.-La misura di una tensione di picco può essere fatta facilmente con l'aiuto di un raddrizatore e di un condensatore.

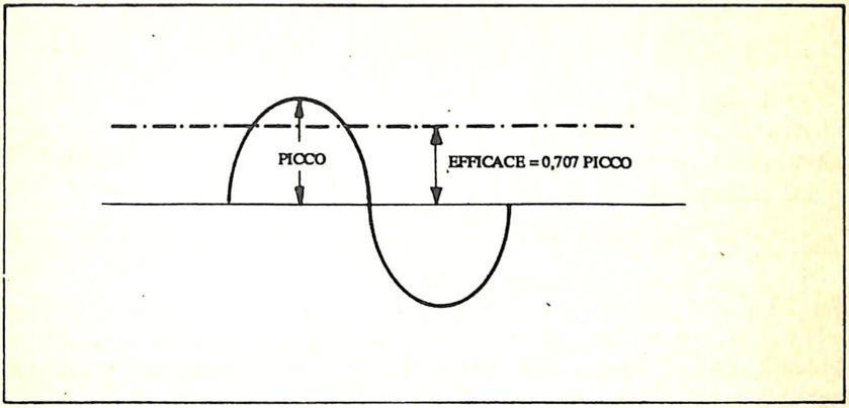


Fig. 9.-I valori di picco e efficaci per un'onda sinusoidale (o una determinata qualsiasi) sono relazionati da fattori di valore costante (in questo caso, 0,707).

zioni sull'onda o segnale variabile.

Tuttavia, per una determinata forma d'onda (per esempio, un'onda quadra, triangolare, sinusoidale, ecc.) il suo valore efficace è matematicamente rapportato con il suo valore di picco; quindi conoscendo uno dei due si arriverà automaticamente a conoscere anche l'altro. Così, per esempio, il valore efficace di un'onda sinusoidale è il 70,7% di quello di picco (vedere Fig. 9).

Nonostante che, in teoria, qualunque tipo di forma d'onda sia sottoponibile a misura, in pratica quella con la quale si ha a che fare più frequentemente è definita *sinusoidale* (che corrisponde ai toni puri, o all'onda portante di un'emittente radio).

Pertanto, se misuriamo il valore di picco di un'onda sinusoidale, sapremo il suo valore efficace moltiplicando quello di picco per il fattore 0,707.

Riassumendo il procedimento, questo è quanto si deve fare in pratica per misurare tensioni alternate: si raddrizza l'onda, si misura il suo valore di picco con l'aiuto di un condensatore; la scala corrispondente si gradua direttamente in valori efficaci, con già incluso il fattore di correzione adeguato.

Per le misure di intensità di corrente in alternata, si segue un processo similare, come mostrato in Fig. 10 , anche se in questo caso è più facile usare un galvanometro per la misura del valore medio dell'intensità di corrente, dopo che è stata rettificata.

In qualsiasi modo, la scala viene ancora graduata in valori efficaci, te-

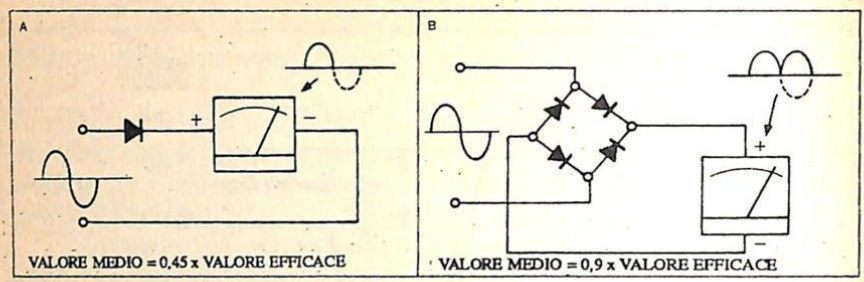


Fig. 10.-L'intensità di corrente media che circola in un misuratore è rapportata con i suoi valori per fattori costanti che dipendono dal tipo di raddrizzatore utilizzato. A) Raddrizzatore a semionda. B) Raddrizzatore a ponte o a onda completa.

nendo presente l'opportuno *fattore di correzione* (il cui valore dipende dal tipo di raddrizzatore utilizzato).

In questo modo si risolvono tutti i problemi delle misure in corrente alternata. A meno che non ci siano specifiche particolari, le scale graduate degli strumenti per segnali alternati sono tarate supponendo che la forma d'onda sia sempre sinusoidale. Pertanto, la lettura fatta con un altro tipo di forma d'onda non risulterà valida, a meno di utilizzare i fattori di correzione adeguati.

CAPITOLO 2

L'AMPEROMETRO

L'amperometro è un apparecchio o strumento che permette di misurare l'intensità della corrente elettrica, presentando direttamente su di una scala calibrata le unità di misura impiegate per definirla, chiamate *ampere*, o meglio, frazioni di ampere.

E' di vasto utilizzo in campo elettronico, e grazie all'indipendenza della sua azione diretta dalla misura, è anche utilizzato come base per la costruzione di altri strumenti, come voltmetri, ohmmetri, ecc.

Il suo funzionamento è basato su uno dei principi fondamentali dell'elettromagnetismo, che, in forma molto semplificativa, dice: qualsiasi corrente elettrica che fluisce attraverso un filo conduttore produce un campo magnetico attorno allo stesso (simile al campo magnetico creato da un magnete), la cui forza dipende dall'intensità della corrente che in esso circola.

Questo principio è illustrato in Fig. 1.

Pertanto, e in modo puramente meccanico, basandosi unicamente su un complesso di elementi che esercitano forze in un determinato verso, è possibile muovere un'ago indicatore su di una scala graduata, fino a che questi elementi non si contrappongono e l'ago si ferma.

Gli *amperometri* si costruiscono in base a questi principi, e ne esistono due modelli, che si differenziano per gli elementi in movimento durante il loro funzionamento, chiamati amperometri da quadro o bobina mobile, e amperometri a nucleo mobile.

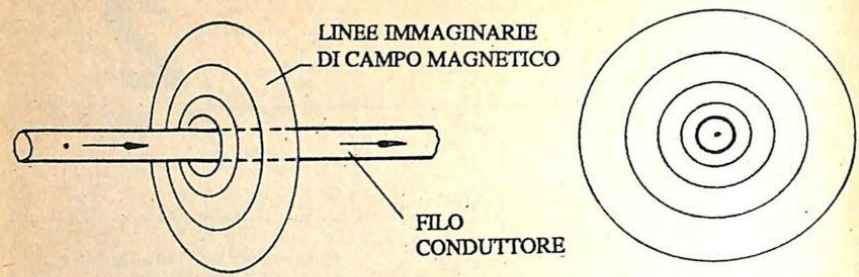


Fig. 1.-Corrente elettrica che circola in un filo conduttore e campo magnetico da lei creato, osservati da due differenti punti.

Amperometri a bobina mobile

L'amperometro a bobina mobile è formato, come dice il suo nome, da una bobina circolare di filo conduttore, avvolta su di un magnete. Al centro

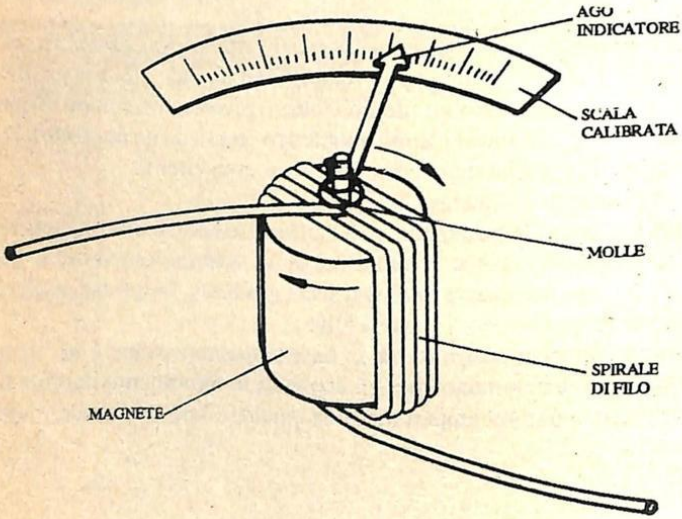


Fig. 2.-Principio di funzionamento del sistema a bobina mobile. L'ago si ferma all'equilibrarsi delle forze della molla e della bobina.

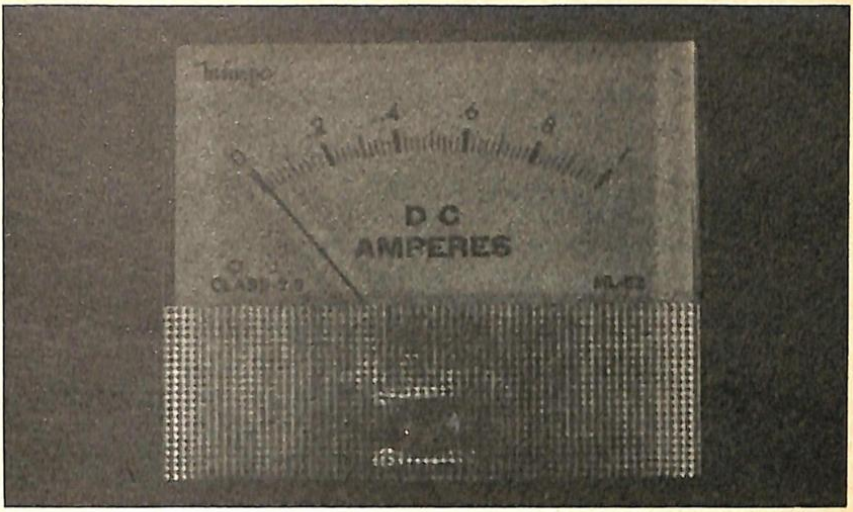


Fig. 3.-Amperometro a bobina mobile in corrente continua, indicata mediante la scritta DC e i simboli a sinistra. La vite situata al centro del quadrante permette la regolazione dell'ago sullo zero della scala, in assenza di corrente.

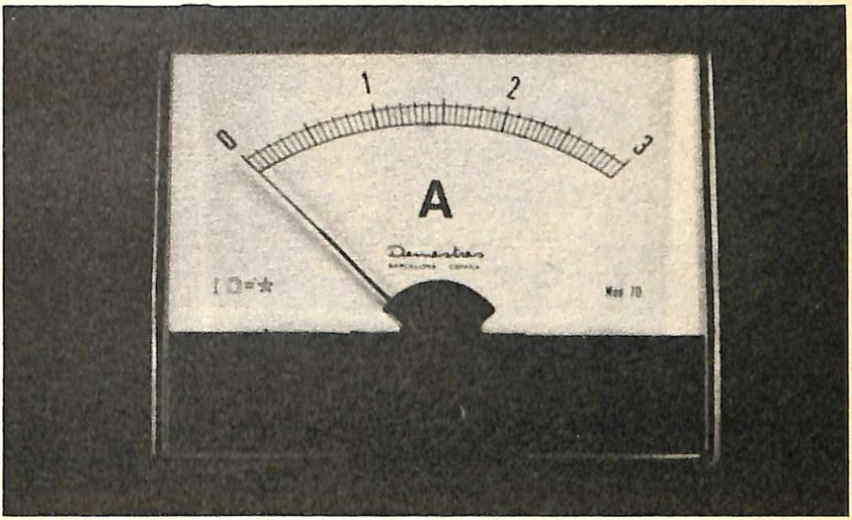


Fig. 4.-Amperometro a bobina mobile. Realizza misure in corrente continua. Entrambe le caratteristiche sono indicate dai simboli posti sulla sinistra.

della bobina, nella sua parte superiore, si inserisce un pivot che permette di montare l'ago indicatore, in modo tale che questo possa segnalare sul quadrante i movimenti della bobina stessa.

In Fig. 2 si esplica graficamente il funzionamento di tale sistema. Al fluire di una corrente elettrica nella bobina, si creerà in questa una forza magnetica, in modo tale che si produrranno fenomeni di attrazione o di repulsione rispetto al magnete, e la bobina ruoterà facendo perno sul pivot.

Il movimento della bobina è controllato da molle, che svolgono anche la funzione di terminali di ingresso e di uscita della corrente.

Se queste molle non fossero presenti, una piccolissima forza magnetica farebbe ruotare la bobina di un angolo retto, poichè in questa posizione le forze della bobina e del magnete si compensano totalmente.

Pertanto, l'angolo di spostamento della bobina dipende dalla maggiore o dalla minore intensità della forza magnetica prodotta dalla bobina stessa, e questa dipende dalla minore o maggiore quantità di corrente elettrica che si fa passare all'interno della bobina. In realtà questa forza è influenzata anche da altri fattori, come la grandezza del diametro della bobina, il numero di giri che

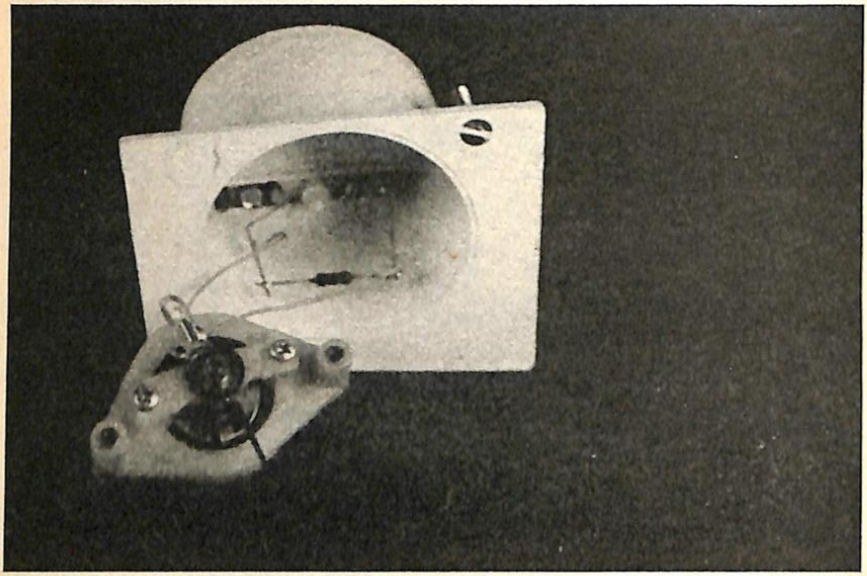


Fig. 5.-Vista interna di un amperometro a bobina mobile. Si può osservare la resistenza di shunt e la bobina situata sul magnete che forma il nucleo centrale.

può compiere il magnete e la sua forza; ma tutti questi fattori costanti sono fissati e regolati dai costruttori di queste apparecchiature.

Insieme alla bobina mobile e in movimento con essa, c'è l'*ago* indicatore, che oscilla su di una scala graduata in ampere, indicando il valore della corrente che passa.

L'amperometro a bobina mobile può essere utilizzato solo in corrente continua, poichè quella alternata farebbe muovere la bobina rapidamente avanti e indietro.

Amperometro a nucleo mobile

L'amperometro a nucleo mobile, chiamato anche *elettromagnetico*, è composto, come quello visto precedentemente, da una bobina nella quale circola una corrente che produce il campo magnetico; in questo caso però la bobina è fissa e non ha il magnete fisso che provoca il suo movimento.

Al suo posto si utilizza una parte di nucleo fissato alla bobina, e un altro unito a un'ago mobile su di un pivot. Quando circola corrente nella bobina, entrambe le parti di nucleo si trasformano in magneti a causa dell'effetto magnetico della corrente, e si respingono mutuamente, indipendentemente dal verso di tale corrente.

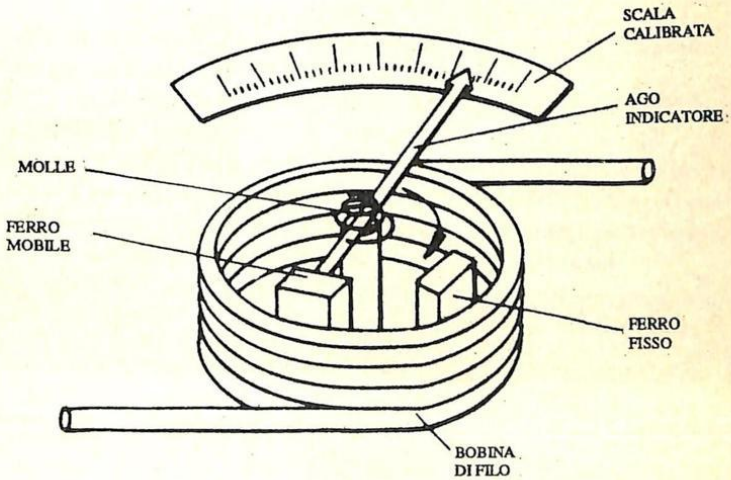


Fig. 6.-Principio di funzionamento del sistema a ferro mobile.

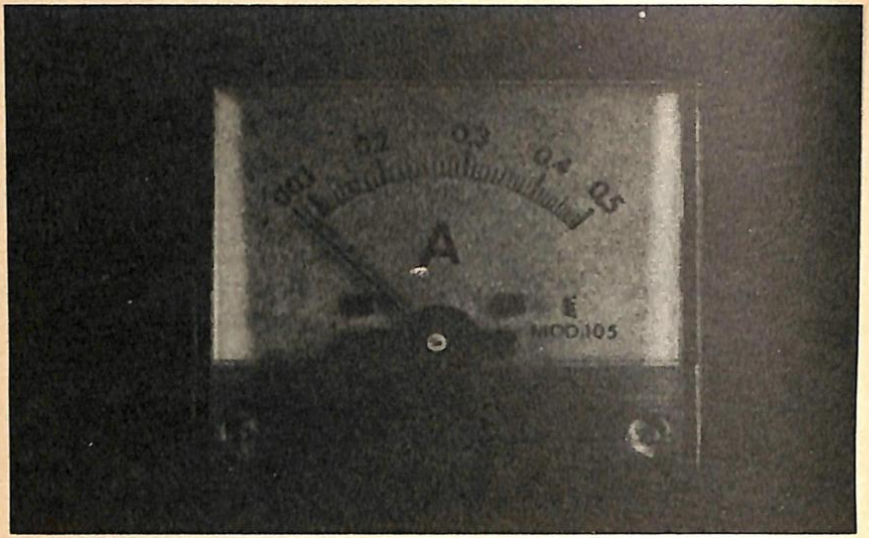


Fig. 7.-Amperometro del tipo a ferro mobile. Si identifica mediante il simbolo posto sul frontespizio della scala nella zona destra. Permette la misura della corrente continua e alternata.

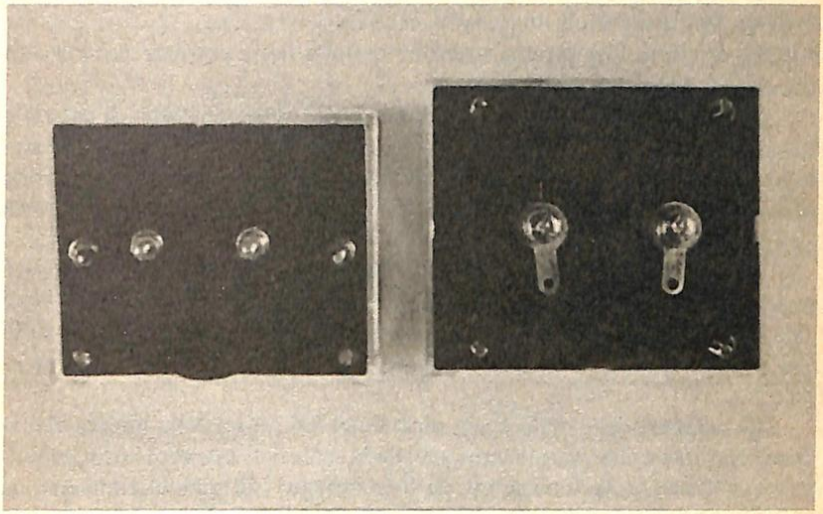


Fig. 8.-Vista posteriore di due amperometri. Quello di sinistra è a ferro mobile, e non necessita di nessuna indicazione di polarità. Quello di destra è a bobina mobile, essendo indicata la polarità con il segno + posto sulla connessione di sinistra.

In questo caso si utilizza una molla per controllare il movimento dell'ago. Questo procedimento è mostrato in Fig. 6.

La grandezza della forza di repulsione, e di conseguenza l'ampiezza dello spostamento dell'ago, dipendono dalla quantità della corrente che circola nella bobina. L'ago indicherà su di una *scala graduata* in ampere, la quantità di corrente che passa per la bobina stessa. In questo modello di amperometro, il verso della corrente circolante non è un fattore importante, e può essere usato indistintamente per la corrente continua e per quella alternata.

Esistono anche modelli di amperometri di tipo meccanico, ma non sono molto usati in pratica.

Lo shunt negli amperometri

Qualunque amperometro necessita, come complemento, di un dispositivo chiamato *shunt* (parola inglese che significa derivazione), che permette solo il passaggio di una piccola porzione definita della corrente del circuito attraverso la bobina di misura.

Lo shunt è costituito da un filo unito ai suoi estremi ai punti di entrata e di uscita, o terminali, della bobina. Siccome la bobina presenta una resistenza elettrica al passaggio della corrente rispetto allo shunt, la maggior parte della corrente devia in questo, e attraverso la bobina passerà solamente una piccola parte di tale corrente.

Questo elemento è indispensabile, poichè le bobine di misura possono sopportare una corrente limitata, e valori di questa superiori a quelli tollerati le distruggerebbero, o deformerebbero in maniera permanente le molle sulle quali si basa il principio di funzionamento, rendendo inservibile l'amperometro.

Le caratteristiche dello shunt dipendono dal range della misura che si vuole effettuare e che viene determinato dalla scala dell'amperometro; pertanto, per cambiare scala di misura di un amperometro calibrato inizialmente da 0 a 10 ampere in un altro da 0 a 100, basterà cambiare lo shunt, mentre la bobina rimarrà sempre la stessa.

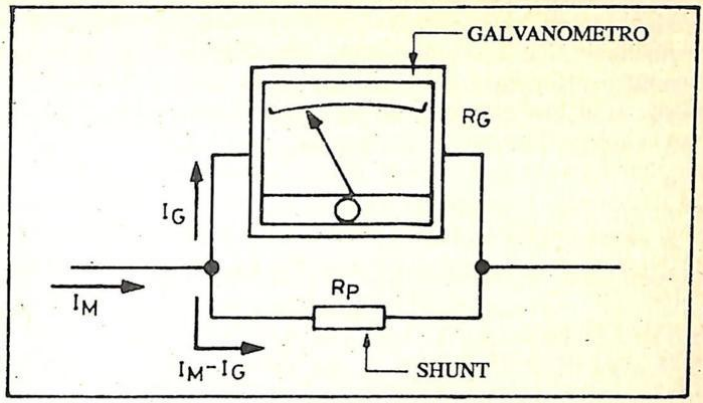
Calcolo della resitenza di shunt

Come si può conoscere il valore della resistenza dello shunt? Semplicemente con l'aiuto di questa equazione:

$$R_p\,(\Omega) = R_G\,(\Omega)\,\frac{I_G\,(\mu A)}{I_M\,(\mu A) - I_G\,(\mu A)}$$

dove R_p è la resistenza dello shunt, R_G è la resistenza del galvanometro (amperometro ad alta sensibilità) utilizzato, I_G è il valore di fondo scala del galvanometro, e I_M è la corrente che bisogna misurare.

Per chiarire le idee, occorre guardare la Fig. 9. In questo caso, per esempio, se si dispone di un galvanometro di 50 μA di fondo scala (I_G = 50 μA), con una resistenza interna di 2 KΩ (R_G = 2 KΩ = 2000 Ω), e con questo si desidera misurare una corrente di 1000 mA (I_M = 100 mA = 100000 μA), la resistenza che si deve mettere in parallelo deve essere:



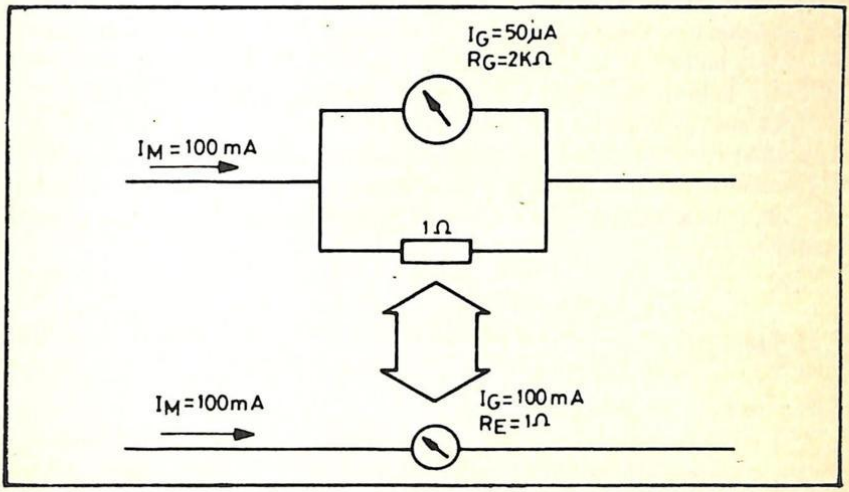


Fig. 9.-Funzionamento della resistenza di shunt, e calcolo della stessa.

$$R_p = 2000 \frac{50}{100000 - 50} = 1.0005\ \Omega \approx 1\ \Omega$$

Altri tipi di amperometri

In epoca recente si sono costruiti degli amperometri completamente elet-

tronici, che presentano la misura direttamente in forma numerica, su di un gruppo di indicatori luminosi o *display*.

Normalmente questo modello si incontra accoppiato a un altro strumento più completo, che permette di realizzare anche altri tipi di misure differenti, chiamato *tester*, che sarà descritto più avanti in questo libro.

Applicazioni dell'amperometro

In commercio si possono trovare amperometri nelle forme e dimensioni più svariate, con una vasta gamma di sensibilità, anche se quelli a bobina mobile sono i più utilizzati, per via della loro maggior precisione.

Normalmente, la limitazione che presenta l'amperometro a bobina mobile di funzionare solamente a corrente continua, viene risolta utilizzando un *convertitore* da corrente alternata in corrente continua, o raddrizzatore a ponte, e posizionando l'amperometro sul ramo centrale del suddetto ponte, in modo da non perturbare eccessivamente il passaggio della corrente, ottenendo all'uscita dello stesso ancora una corrente alternata, come al suo ingresso.

La sua applicazione più comune è quella di strumento di misura in apparecchiature di alimentazione, come alimentatori da laboratorio, convertitori di corrente alternata in continua o raddrizzatori, e in tutti quei casi in cui occorre un'indicazione costante e sicura della corrente che circola in un sistema elettrico.

Chiarimenti

Che cosa è un campo magnetico?

Un campo magnetico è una regione situata nello spazio circostante un magnete, nella quale sono presenti delle forze di attrazione o di repulsione prodotte dal magnete stesso.

Quale è la funzione delle molle del quadrante?

La funzione di tali molle è quella di opporsi alla forza magnetica che provoca il movimento dell'ago, con lo scopo di farlo fermare in un punto del suo percorso, corrispondente all'equilibrio delle due forze, che indica, sulla scala, il valore della misura desiderata.

Perchè non è rilevante il verso della corrente in un amperometro a nucleo mobile?

In seguito al fatto che i due elementi di nucleo si magnetizzano sempre

nel medesimo verso, questi risulteranno sempre sottoposti allo stesso campo. Pertanto la forza di repulsione non dipenderà dalla variazione del verso della corrente, ma unicamente dalla sua intensità.

Che funzione realizza lo shunt?

Lo shunt devia parte della corrente, poichè se tutta circolasse nell'amperometro, potrebbe danneggiarlo.

Come si può realizzare un amperometro a corrente continua in grado di effettuare anche misure in corrente alternata?

Semplicemente utilizzando un raddrizzatore.

CAPITOLO 3

IL VOLTMETRO

Il *voltmetro* è uno strumento molto utilizzato, poichè con esso si possono realizzare misure di tensione elettrica tra due punti di un circuito. Il risultato di questa misura si presenta direttamente sopra una *scala calibrata.*

Il funzionamento di un voltmetro deriva direttamente dal funzionamento dello strumento di base costituito dall'amperometro, poichè è necessario che durante il procedimento della misura di tensione, fluisca nell'apparato una debole corrente in grado di muovere l'ago sulla scala.

Una delle condizioni essenziali di un buon voltmetro è che, a differenza dell'amperometro, presenti una *resistenza* molto alta tra i due punti di misura, in quanto deve limitare la corrente che circola nel suo interno per non danneggiarsi, e non deve alterare le condizioni del circuito sotto misura.

Questo strumento è costruito, pertanto, utilizzando il sistema elettromeccanico dell'amperometro, che comprende tutto il gruppo di magneti, bobina e ago, chiamato *quadrante*, al quale viene collegata una resistenza che dovrà fornire la debole corrente necessaria, come viene mostrato nella Fig. 1.

Questa resistenza dovrà essere di precisione e di alta stabilità, perchè la sua funzione principale è di convertire una tensione tra due punti in una tensione proporzionale, facendo in modo che la corrente massima che l'amperometro è in grado di sopportare coincida con la massima tensione misurabile con il voltmetro quando l'ago arriva al fondo della scala.

La scala di lettura sul quadrante è calibrata in *Volt,* e su di questa si effettua direttamente la lettura.

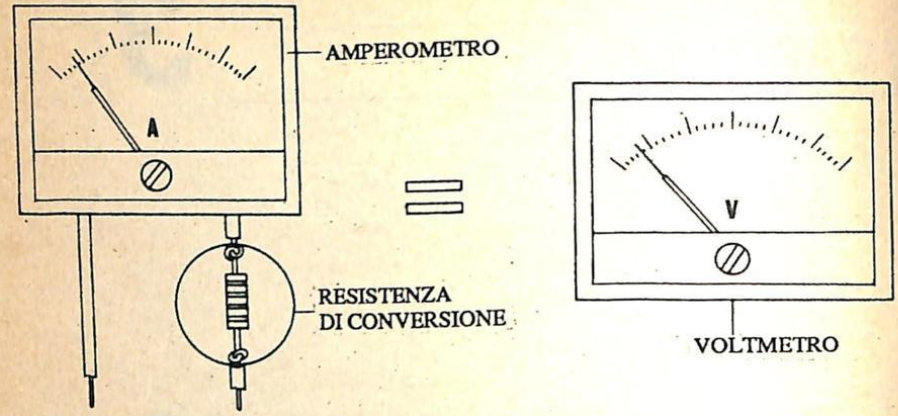


Fig. 1.-Un amperometro con l'aggiunta di una resistenza è perfettamente somigliante a un voltmetro.

Resistenza serie

Il valore della resistenza che deve essere collegata in serie con il galvanometro può essere ricavata dall'equazione:

$$R_S\ (K\Omega) = \frac{V_M\ (V)}{I_G\ (mA)} - R_G\ (K\Omega)$$

dove R_G è il valore della resistenza serie, V_M è la tensione che si desidera misurare, I_G è il valore di fondo scala del galvanometro e R_G è il valore della resistenza del galvanometro utilizzato. Per chiarire le idee, conviene guardare la Fig. 2.

In questo caso, se si dispone di un galvanometro (I_G =50 μA = 0,05 mA; R_G = 2 KΩ), e si desidera misurare 300 V a fondo scala (V_M = 300 V), la resistenza che deve essere posta in serie al galvanometro è:

$$R_S = \frac{300}{0{,}05} - 2 = 5.998\ K\Omega \approx 6000\ K = 6\ M$$

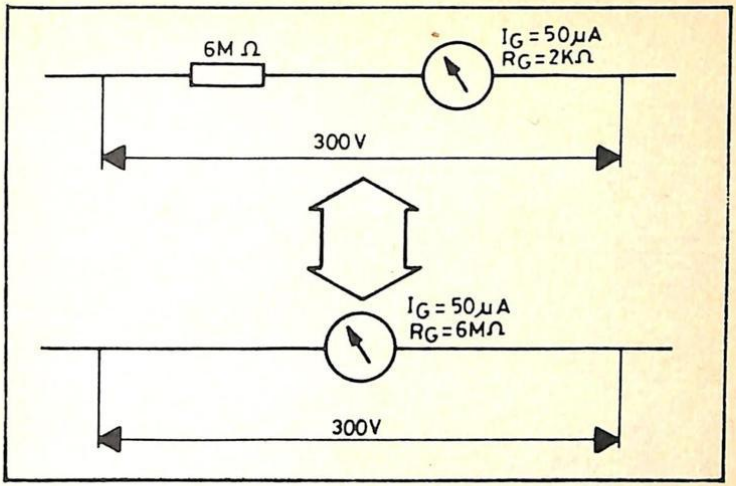


Fig. 2.-Calcolo della resistenza serie di un voltmetro.

Se si decide di variare le resistenze che si connettono in serie e/o in parallelo con un galvanometro, si otterrà un apparecchio in grado di misurare tensioni e/o correnti i cui valori saranno determinati da quelli delle corrispondenti resistenze.

Questo apparecchio costituirà un *voltamperometro*, come quello mostrato nella Fig. 3.

Così come la *sensibilità* di un misuratore di corrente è data dal suo valore di fondo scala, e si misura in valori di intensità (μA, mA, ecc.), quella di un misuratore di tensione viene normalmente espressa come il valore della resistenza che presenta il gruppo galvanometro-resistenza in serie, quando si misura 1 V a fondo scala.

Con il galvanometro utilizzato precedentemente (I_G = 50 μA; R_G = 2 KΩ), la resistenza in serie tenderà al valore, per 1 V a fondo scala (V_M = 1 V), di:

$$R_S = \frac{1}{0{,}05} - 2 = 18\ K\Omega$$

che, sommato ai 2 KΩ del galvanometro, darà un totale di 20 KΩ. Come dire che il voltmetro che si può costruire con questo galvanometro ha una sensibi-

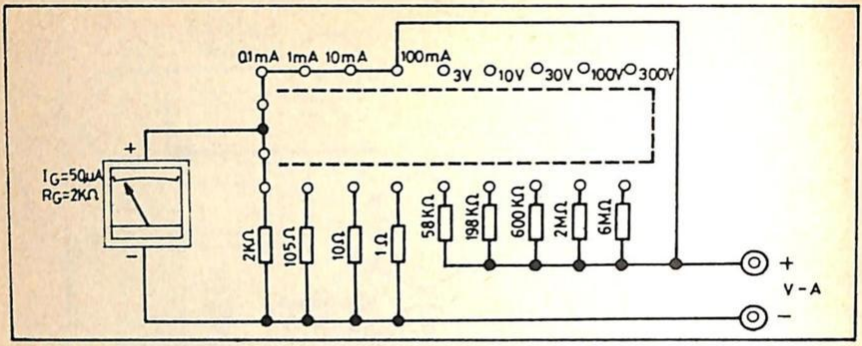


Fig. 3.-Schema elettrico di un voltamperometro.

lità di 20 KΩ/V.

Quanto maggiore sarà il valore di sensibilità, tanto più sensibile sarà e , pertanto, più adatto a realizzare misure di buona precisione.

Tipi di voltmetri

Come per gli amperometri, con il sistema di movimento dell'ago sul quadrante, esistono due tipi di voltmetri, che sono quelli a *bobina mobile* e quelli a *ferro mobile.*

Quelli a bobina mobile, permetteranno di realizzare unicamente misure di tensioni continue, poichè la corrente circola nel quadrante sempre e solo nel medesimo verso.

Il voltmetro a ferro mobile permette la misura delle tensioni continue e di quelle alternate, in quanto la meccanica del suo quadrante di misura lo permette.

Tuttavia, il tipo universalmente più utilizzato è quello a bobina mobile, come nel caso degli amperometri, in cui il problema delle tensioni alternate viene superato con un sistema di conversione della corrente alternata in continua, chiamato raddrizzatore, come si può vedere in Fig. 5.

Scala di misura

Uno dei fattori più importanti da tenere presente nella scelta di un voltmetro, è la *scala di misura*, o meglio la massima tensione che indica a fondo

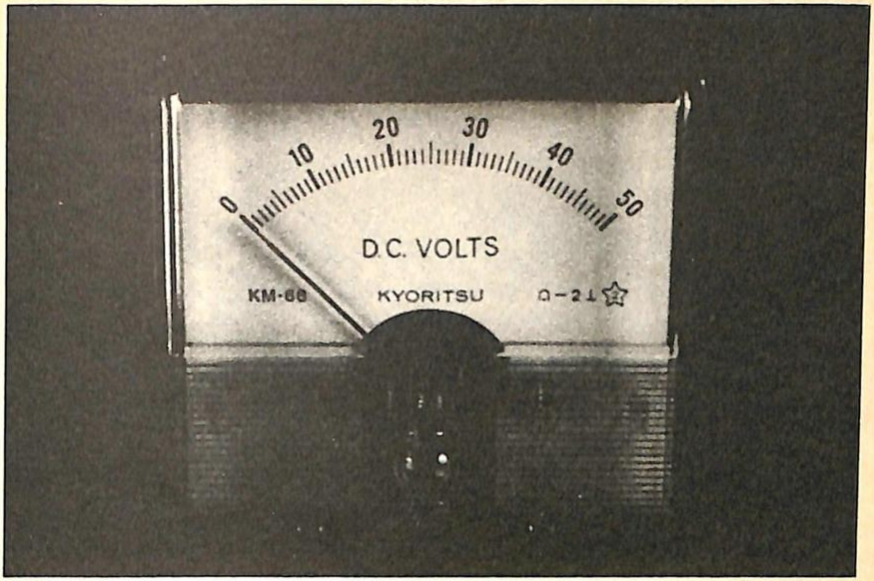


Fig. 4.-Voltmetro a bobina mobile, adatto solo per misure in tensione continua. Scala da 0 a 50 V. Contenitore grande.

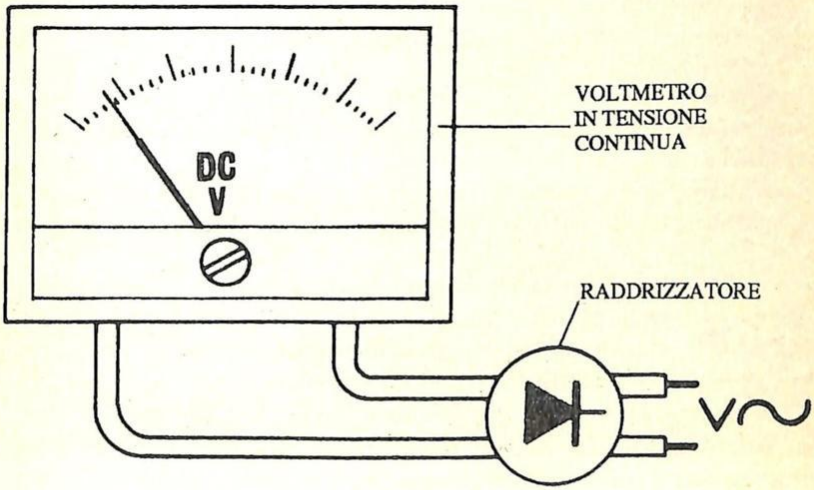


Fig. 5.-Voltmetro a bobina mobile e corrente continua, convertito in alternata con l'aggiunta di un raddrizzatore.

scala, corrispondente a quella che si ha quando l'ago raggiunge la massima divisione della scala.

In effetti, se lo strumento deve essere utilizzato in una apparecchiatura che effettua misure, per esempio, fino a 100 Volt, si dovrà utilizzare un voltmetro che arriva a tale tensione; se però viene utilizzato anche per rilevare tensioni minori, la precisione di queste misure di bassa tensione non sarà molto elevata, in quanto l'ago si sposterà solo di poco sulla scala, impedendo con una semplice occhiata di ottenere una buona definizione.

Per risolvere questo problema, esistono in commercio alcuni modelli di voltmetri che al posto di una sola scala, ne presentano diverse contemporanee sullo stesso quadrante di lettura.

Occorrono, quindi, diversi ingressi di lettura nello strumento, con normalmente un punto comune per tutti, e l'altro separato per ciascuna scala.

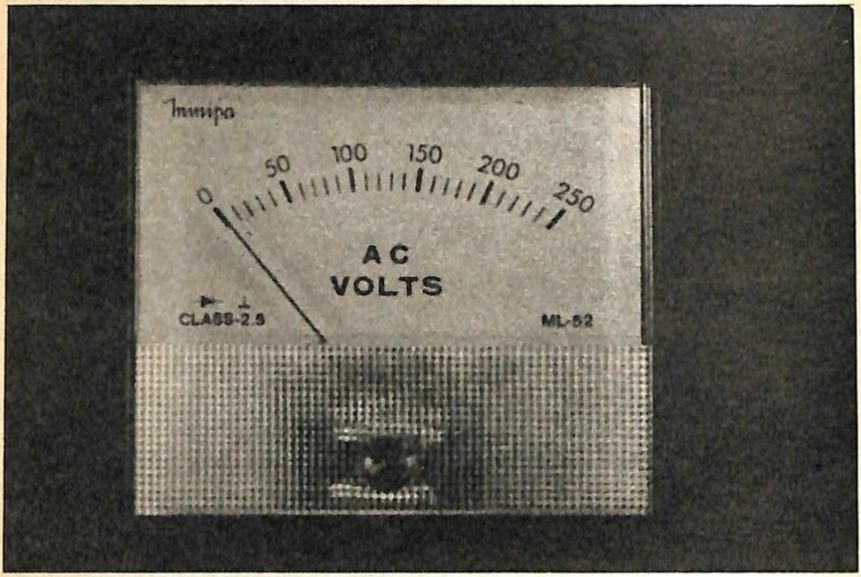


Fig. 6.-Voltmetro a bobina mobile con il rettificatore incorporato, che consente di realizzare misure in tensione alternata. Scala da 0 a 250 V. Scatola grande.

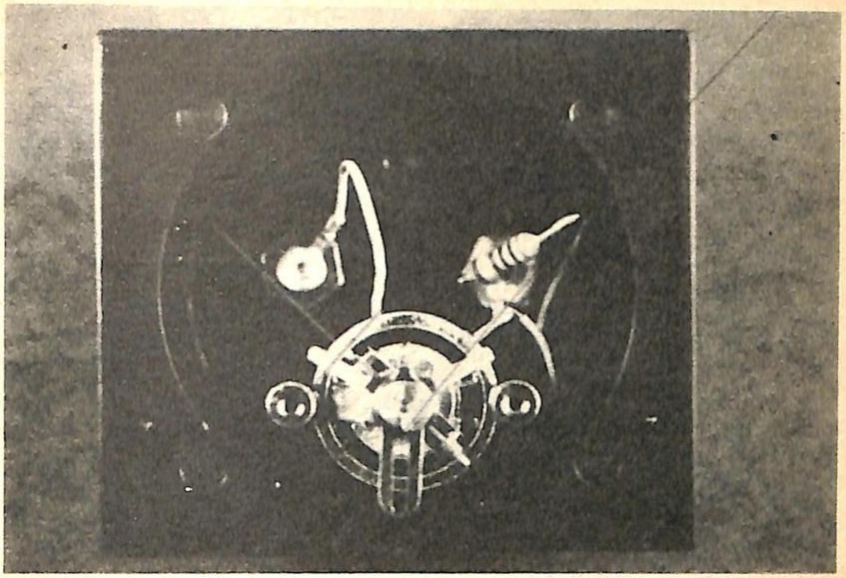


Fig. 7.-Interno di un voltmetro a bobina mobile. Si può osservare sulla destra la resistenza interna.

Campi di utilizzo del voltmetro

I metodi di utilizzo del voltmetro sono due:

Integrato in una apparecchiatura, con un collegamento permanente ai punti che si desiderano misurare.

Utilizzazione volante, per effettuare misure in un gran numero di punti differenti.

Il primo modo di impiego è tipico in alcune apparecchiature che devono mostrare, durante il loro funzionamento, la tensione che è presente in alcuni suoi punti in modo permanente, così da poter controllare il funzionamento degli stessi.

Come esempio possiamo citare un *alimentatore*, costituito da un'apparecchiatura che ha lo scopo di fornire la corrente necessaria per il funzionamento di un altro dispositivo, a una tensione determinata e normalmente regolabile.

Logicamente deve essere possibile controllare la tensione che l'alimentatore sta fornendo all'uscita e, per questo, l'alimentatore deve avere un vol-

il livello ammissibile. Questi voltmetri sono normalmente conosciuti con il nome di *V-meter*.

Nelle Fig. 9 e 10 sono mostrate apparecchiature di questo tipo.

Tensioni alternate

E' necessario fare una considerazione speciale destinata all'utilizzo del voltmetro in corrente alternata.

In primo luogo si dovrà tenere presente che il voltmetro a bobina mobile ha incorporato un raddrizzatore per trasformare la tensione da misurare in continua, cosa che può alterare leggermente la precisione della misura, soprattutto per le basse tensioni, poichè il raddrizzatore assorbe una tensione di 1,5 V circa per poter lavorare, che sarà in parte compensata dalla resistenza interna utilizzata.

In secondo luogo, la tensione continua che si ottiene dopo il raddrizzatore non è costante, ma sarà di tipo *pulsante*, con pulsazioni corrispondenti agli istanti in cui la semionda alternata passa per il suo intervallo positivo (o anche nei periodi positivi e negativi se il raddrizzatore è a onda completa), ma esisteranno sempre alcuni istanti nei quali la tensione avrà valore zero, per arrivare a altri nei quali è a valore massimo.

Il voltmetro deve essere in grado di rilevare un valore di tensione uniforme senza movimenti oscillanti dell'ago, cosa che in parte si consegue con l'inerzia stessa del quadrante.

La tensione alternata misurata con il voltmetro è sempre quella definita *tensione efficace*, che non corrisponde al valore massimo che raggiunge la tensione durante il suo ciclo di commutazione da positivo a negativo, ma sarà

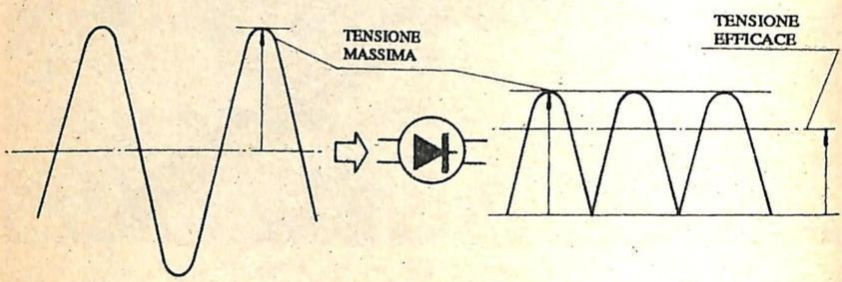


Fig. 11.-Tensione ottenuta dopo un rettificatore. Si osservi la differenza tra la tensione massima e quella efficace.

quella corrispondente a un punto intermedio di questo ciclo.

Tale valore efficace è definito come il livello di tensione alternata necessario per produrre la stessa quantità di energia, generalmente sotto forma di calore, su di una resistenza, che produrrebbe una tensione continua con lo stesso valore.

Il valore efficace di una tensione alternata è quello che si utilizza normalmente nel linguaggio abituale; un esempio pratico è la tensione alternata di 220 V di utilizzo domestico o industriale; questo valore di 220 V corrisponde alla tensione efficace e non alla massima.

Per ottenere il valore massimo di tensione è necessario moltiplicare la tensione efficace per il numero fisso 1,41.

Per chiarire le idee si raccomanda di osservare la Fig. 11.

Alta tensione

Infine, in alcune occasioni è necessario misurare punti con una tensione molta alta, alla quale non è possibile applicare quanto detto precedentemente.

Per realizzare misure di alte tensioni presenti nei tubi dei televisori, ad

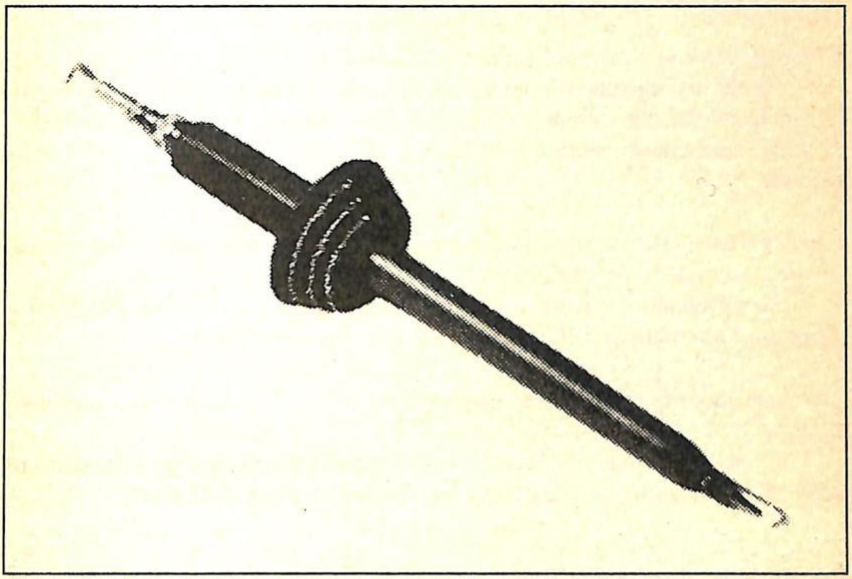


Fig. 12.-Sonda per alta tensione. Molto utilizzata per la misura E.A.T. dei ricevitori TV.

esempio, è necessario avere delle precauzioni speciali di isolamento, con i fili connessi al voltmetro o con l'attrezzo o punta di misura utilizzato, al fine di evitare di prendere scosse pericolose, e di non alterare la tensione sotto misura.

Il metodo normale prevede l'utilizzo di uno strumento speciale, chiamato *sonda* di alta tensione, come quello di Fig. 12, che ha tutti i requisiti necessari di isolamento, e possiede una resistenza interna molto elevata; con questo strumento, è possibile ottenere nel punto di misura una corrente molto debole che, portata a un amperometro, permette di conoscere il valore richiesto, trasformando la corrente misurata, normalmente in milliampere, nella tensione ricercata, e moltiplicando il valore letto per un fattore di conversione che sarà indicato sulla sonda stessa.

Chiarimenti

Quale è la principale differenza tra un amperometro e un voltmetro?

La differenza principale è che, mentre in un amperometro la resistenza interna deve essere la più bassa possibile, in un voltmetro la situazione è esattamente opposta: con una maggiore resistenza si otterrà una migliore qualità e precisione della misura.

Come influisce la scala sull'esattezza della misura?

Anche se l'ago segnala un valore di tensione corretto, in molte occasioni sarà impossibile discernere, a semplice vista, tra due divisioni prossime della scala, cosa che impedisce di avere un valore completamente esatto della misura.

Che differenza esiste tra un voltmetro a corrente continua e uno a corrente alternata, entrambi a bobina mobile?

La differenza è dovuta all'impiego di un raddrizzatore, che serve a trasformare l'alternata in continua.

Che cosa succede se si applica una tensione alternata a un voltmetro in continua?

L'ago non si muoverà, poichè la sua inerzia meccanica gli impedisce di seguire la variazione di 50 cicli al secondo della tensione alternata.

CAPITOLO 4

MISURE DI RESISTENZE

Gli ohmmetri

Un galvanometro è uno strumento in grado di misurare direttamente solo valori di intensità di corrente. Con un piccolo artificio è possibile utilizzarlo anche per misure di resistenza. Se su di una resistenza di valore non noto si applica una tensione di valore conosciuto, misurando la corrente che lo attraversa si potrà conoscerne il valore, per via della *legge di Ohm* che dice: Rx = V/I (Fig. 1).

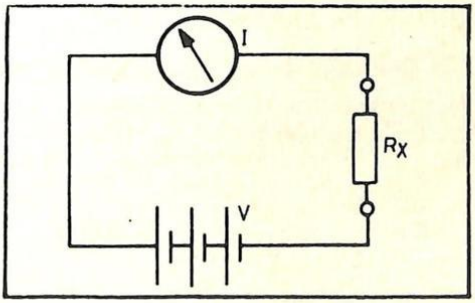


Fig. 1.-Legge di Ohm: Rx = V/I.

Inconvenienti del sistema più semplice

Questo semplice sistema presenta però alcuni inconvenienti di tipo pratico. Per esempio, se il valore della resistenza non nota risultasse basso (supponiamo 100 Ω), e il galvanometro fosse abbastanza sensibile (per esempio, 0,1 mA), anche utilizzando una piccola batteria da 1,5 V, l'intensità di corrente sarebbe di:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,5}{100} = 0,015 \text{ A} = 15 \text{ mA}$$

che potrebbe essere pericolosa per lo strumento di misura.

Altro inconveniente consiste nella difficoltà di ottenere una tensione il cui valore sia sufficientemente costante nel tempo per effettuare misure sicure.

Così, supponendo che con una pila e lo strumento di prima si misuri una resistenza di valore non noto, e ottenendo come risultato una lettura sul galvanometro di 50 μA, il valore della resistenza sarebbe di:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1,5}{50 \times 10^{-6}} = 30.000\ \Omega$$

Come si sa, quando una pila si scarica, diminuisce la tensione che fornisce, per cui rimisurando la stessa resistenza di prima con la tensione della pila scesa a 1,2 V, si leggerà sul galvanometro:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,2}{30 \times 10^{3}} = 40\ \mu\text{A}$$

per cui se la persona che effettua la misura non si accorge che la tensione della pila è scesa rispetto al suo valore nominale, e suppone che sia sempre di 1,5 V, il valore della resistenza non nota gli risulterà essere:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1,5}{40 \times 10^{-6}} = 37.500\ \Omega$$

che è errato. Questo fatto è mostrato in Fig. 2.

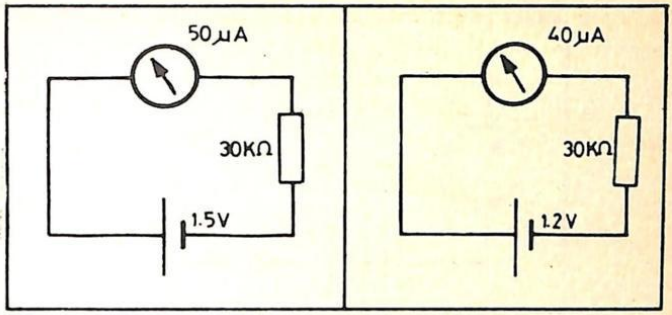


Fig. 2.-Errore di misura di una resistenza, dovuto all'invecchiamento della pila, a causa della semplicità del sistema proposto.

Soluzioni più precise

Per ovviare a entrambi gli inconvenienti, si utilizza una resistenza variabile che può essere collegata in due modi differenti: in *serie* o in *parallelo* al galvanometro. Con la resistenza variabile collegata in serie (Fig. 3) si esegue il seguente processo di misura.

Inanzitutto, si cortorcircuitano i terminali ai quali deve collegarsi la resistenza di valore sconosciuto, quindi si regola la resistenza variabile in modo da posizionare l'ago dello strumento a fondo scala. Con la pila nuova (1,5 V) e con il galvanometro utilizzato in precedenza, tale valore deve essere di:

$$R_V = \frac{1{,}5}{0{,}1 \times 10^{-3}} = 15.000\ \Omega$$

L'aver cortocircuitato i terminali di misura equivale ad aver connesso una resistenza di valore pari a zero ohm. Così, lo zero della scala delle resistenze coincide con quello di fondo scala del galvanometro. Se con il circuito così calibrato si collega una resistenza sconosciuta, la corrente che circolerà nel circuito sarà:

$$I = \frac{V}{R_V + R_X}$$

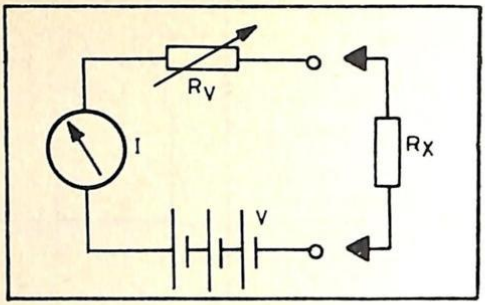


Fig. 3.-Sistema per misure di resistenza, con una regolabile in serie a quella non nota.

per cui la scala del galvanometro potrà essere calibrata direttamente in ohm.

Se, per esempio, con i valori dati precedentemente si misura una corren-

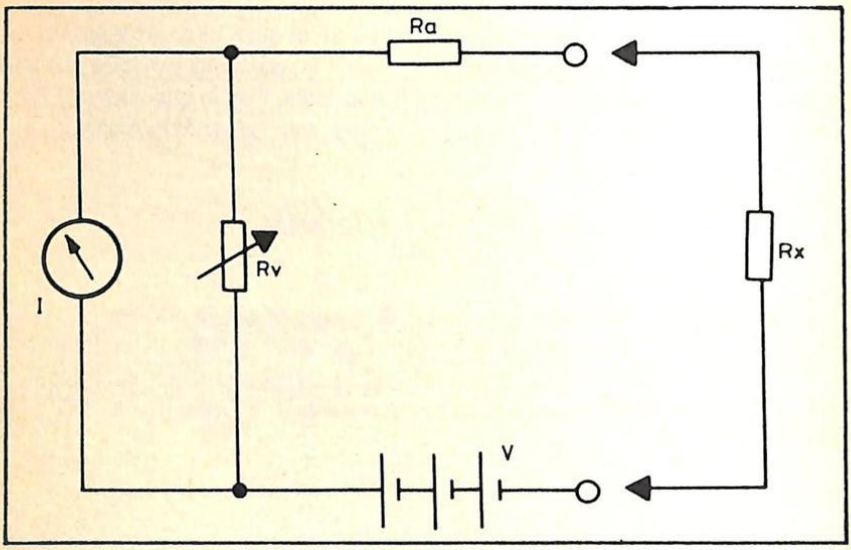


Fig. 4.-Sistema di misura di resistenze, con una regolabile in parallelo.

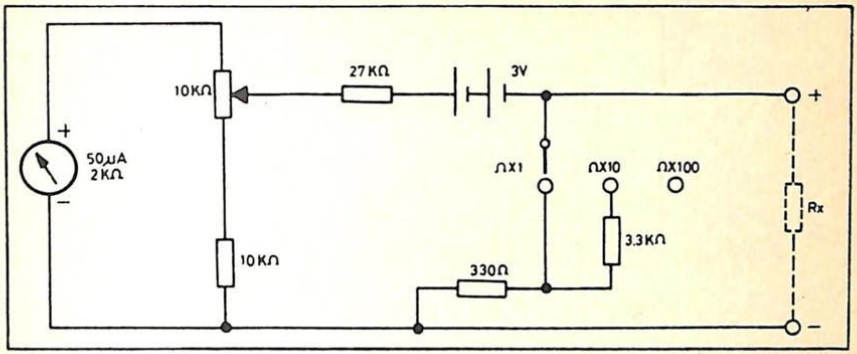


Fig. 5.-Schema pratico di un Ohmmetro a tre scale, con valori centrali di 33 KΩ, 3,3 KΩ, 330 Ω.

te di 30 µA, la resistenza non nota sarà:

$$R_X = \frac{V}{I} - R_V = \frac{1,5}{30 \times 10^{-6}} - 15 \times 10^3 = 35.000\ \Omega$$

Un ohmmetro funziona in modo simile a questo, quando la resistenza variabile viene montata in parallelo con il galvanometro (Fig. 4). In questo caso è necessaria una resistenza addizionale R_a. Il funzionamento è lo stesso di prima.

Scale e circuito pratico

Tutte le *scale* di un ohmmetro hanno la stessa fine (zero ohm a fondo scala) e lo stesso principio di funzionamento (circuito aperto o resistenza infinita sullo zero del galvanometro), per cui le varie scale si distinguono per i valori intermedi. Si usa fornire il valore di resistenza in prova al centro della scala del galvanometro, come valore indicativo dei margini che possono essere letti comodamente in questa scala. Infine, la Fig. 5 mostra uno schema pratico di un ohmmetro a tre scale, con valori centrali di 33 KΩ, 3,3 KΩ e di 330 Ω, che utilizza un galvanometro di 50 µA - 2 KΩ. Le resistenze da utilizzare devono avere una tolleranza uguale o inferiore all'1%.

CAPITOLO 5

IL TESTER

Abitualmente, si raggruppano le tre misure trattate nei precedenti capitoli in un solo strumento, con la possibilità di effettuarle sia in continua che in alternata. Ciò è reso possibile tramite l'adeguata commutazione di certi elementi ausiliari interni, come si vedrà più avanti.

Questo strumento è conosciuto con diversi nomi, quali *tester*, *multimetro*, *multitester* e altri usati con minor frequenza. Ogni strumento citato in precedenza, può essere classificato in due gruppi: *digitale* e *analogico*.

Un apparecchio di misura digitale esprime i risultati in numeri o *digit*, rendendo la sua lettura di immediata interpretazione. Un apparecchio analogico è normalmente costituito da un ago indicatore che si muove lungo una scala graduata, in cui il valore della misura viene letto quando l'ago stesso ha raggiunto la posizione di equilibrio.

Non esiste un criterio completamente oggettivo che possa stabilire quale dei due gruppi sia il migliore. Ciascuno ha i suoi vantaggi e i suoi inconvenienti.

Attualmente sembrano più perfezionati e sofisticati quelli di tipo digitale, che indubbiamente presentano delle caratteristiche molto interessanti, come l'indicazione automatica della polarità, la scelta della scala più appropriata effettuata automaticamente dall'apparecchio stesso, e altre. Tuttavia, non hanno ancora superato l'aspetto economico, che è tutto a vantaggio delle apparecchiature analogiche.

La completa totalità delle apparecchiature analogiche è costituita da un galvanometro come elemento fondamentale di misura, il cui principio di funzionamento è già conosciuto dai nostri lettori. A volte si utilizzano anche alcuni circuiti elettronici che migliorano determinati aspetti o parametri del galvanometro stesso.

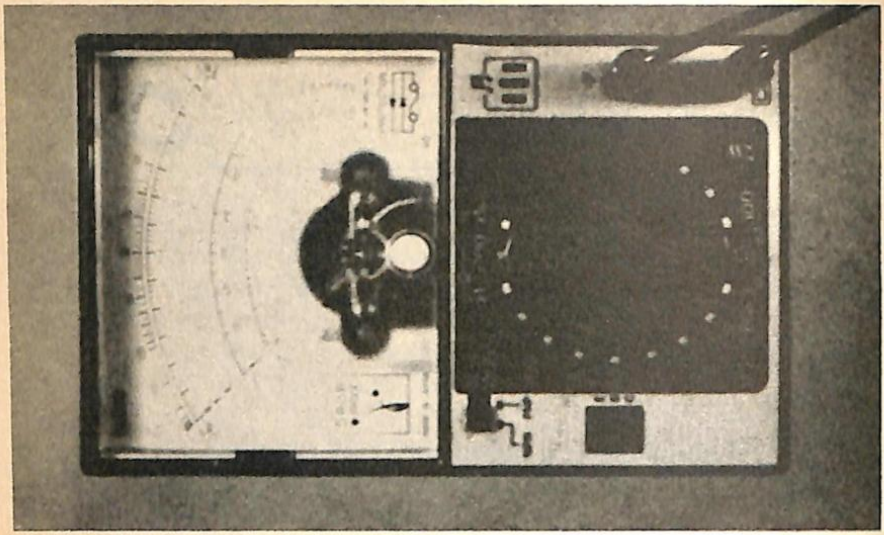


Fig. 1.-Tester analogico, con tutte le funzioni necessarie.

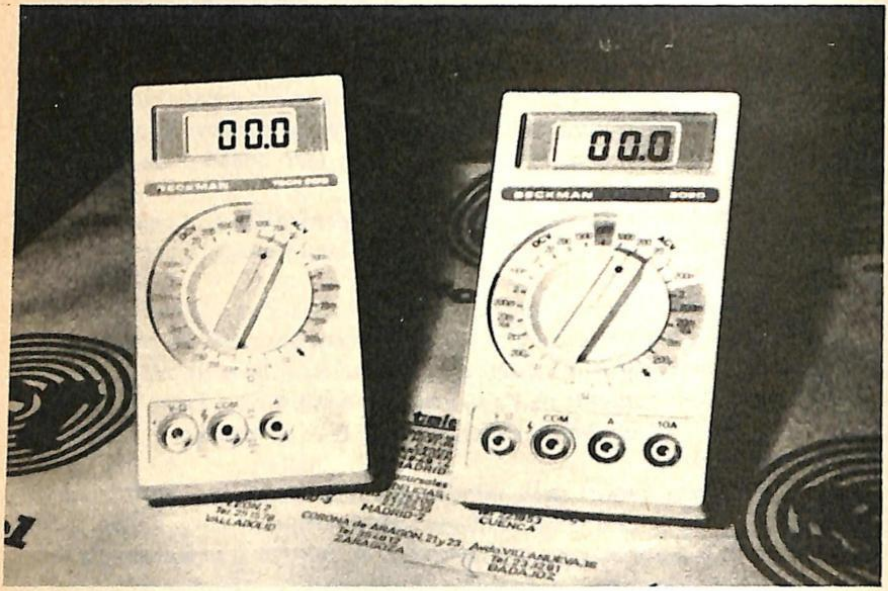


Fig. 2.-Tester digitali.

Questo è il caso dei *voltmetri elettronici*, che possono essere però classificati di tipo digitale.

Sensibilità e resistenza dei tester analogici

Occorre fare una prima distinzione tra i tester analogici classici e quelli elettronici. I primi utilizzano un galvanometro per misurare direttamente la grandezza elettrica desiderata, previa commutazione dei vari componenti che lo adattano alla misura che si vuole realizzare concretamente.

Nei secondi viene frapposta, tra i puntali di prova e il galvanometro, una circuiteria elettronica, che converte la grandezza sotto misura in una tensione o in una corrente, che sono le grandezze che il galvanometro è in grado di misurare.

Forse uno dei parametri più importanti che condiziona maggiormente la scelta di un tester analogico classico è la sua *sensibilità*, parametro che lo rende più o meno adatto a determinate misure.

Ricordiamo che la sensibilità di un misuratore viene espressa in ohm per volt, e equivale alla resistenza effettiva che il misuratore presenta alle sue entrate per ciascuna portata. Saremo più chiari facendo un esempio.

Supponiamo di disporre di due misuratori; uno con sensibilità di 1.000 Ω/V (1 KΩ/V) e un altro, di 20.000 Ω/V (20 KΩ/V). Entrambi possiedono due scale: una che misura 3 V di fondo scala, e l'altra 200 V.

Quando il primo misuratore si predispone per una misura nella scala di 3 V, la resistenza effettiva che presenta alle sue entrate si calcolerà con l'equazione:

$$R_{ef} = \text{Sensibilità} \times \text{Valore di fondo scala} = 1\ K\Omega/V \times 3\ V = 3\ K\Omega$$

mentre quando si seleziona la scala di 200 V, la resistenza sarà:

$$R_{ef} = 1\ K\Omega/V \times 200\ V = 200\ K\Omega$$

Con l'altro tester (20 KΩ/V), in ciascuna scala si otterranno rispettivamente dei valori di resistenza di :

$$R_{ef} = 20\ K\Omega/V \times 3\ V = 60\ K\Omega$$

$$R_{ef} = 20\ K\Omega/V \times 200\ V = 4.000\ K\Omega = 4\ M\Omega$$

Si osservi che la resistenza effettiva è direttamente proporzionale alla

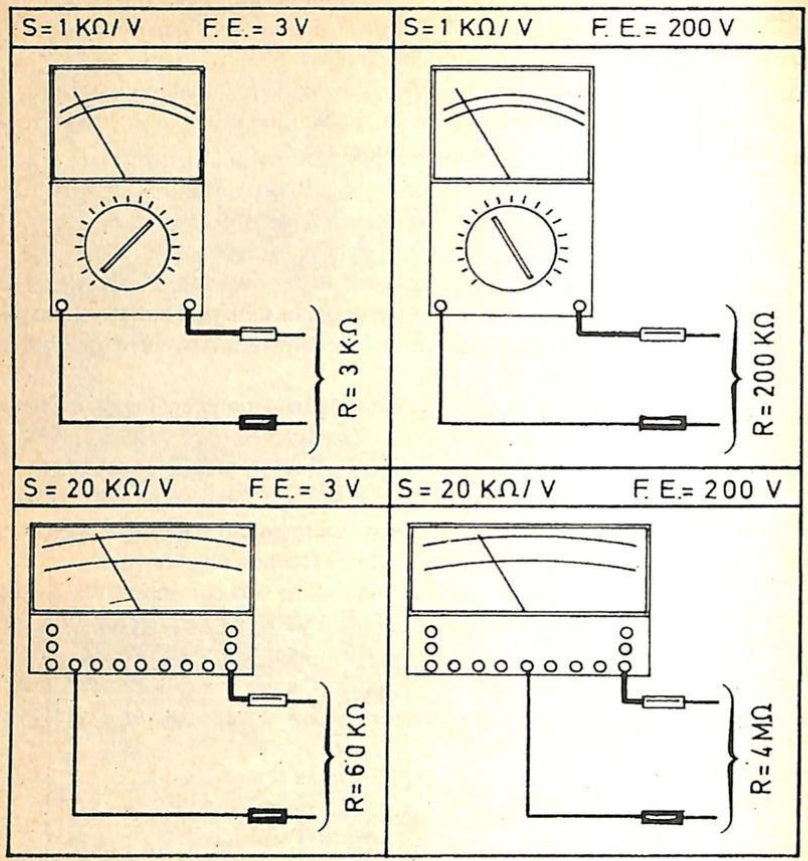


Fig. 3.-Resistenza effettiva in funzione di ciascuna scala.

sensibilità e al valore di fondo scala (Fig. 3).

Scelta della sensibilità

Come abbiamo potuto verificare, la sensibilità del tester è il fattore più importante per ridurre al minimo possibile gli errori delle letture effettuate su dei circuiti reali. Quanto più elevato sarà il valore della sensibilità, minor influenza porterà l'inserimento del tester nel circuito da testare, e, pertanto, si

otterrà un minore errore globale durante la misura.

Ci sono dei tester classici con sensibilità compresa tra 1KΩ/V e 100 KΩ/V. Si devono evitare sensibilità inferiori ai 20 KΩ/V in continua per misure elettroniche, perchè possono dare luogo a grandi errori.

Sensibilità superiori a 20 KΩ/V sono adatte per qualunque misura. Se si hanno a disposizione apparecchi la cui sensibilità è uguale o superiore a 40 KΩ/V, certamente questi saranno dei buoni tester.

Tester digitali

Poichè in un altro volume di questa opera si era già parlato approfonditamente dei tester analogici, passiamo direttamente a descrivere quelli digitali.

I *tester digitali* operano in modo diverso da quelli analogici, e dal punto

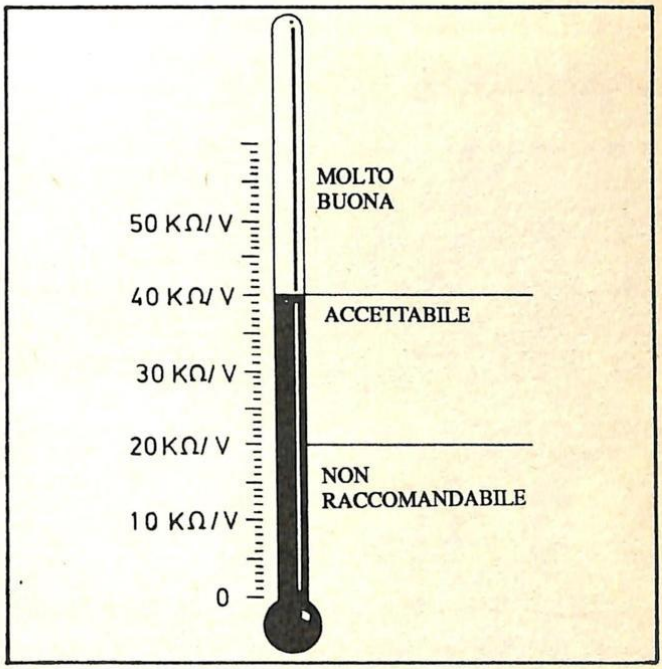


Fig. 4.-Scala per la scelta della sensibilità del tester.

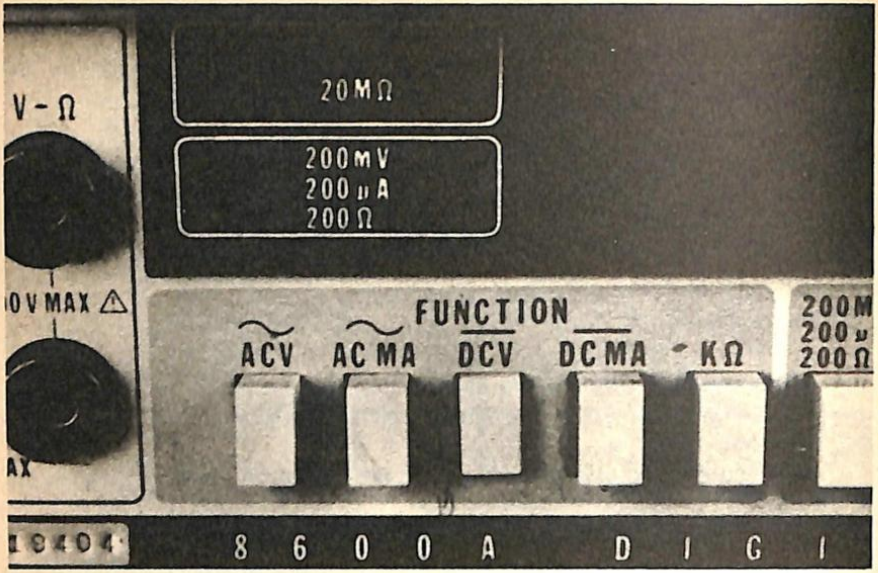


Fig. 5.-Funzioni di cui dispone un tester digitale. Possono osservarsi sul display i due riquadri che segnaleranno in modo luminoso il sovraccarico della scala. Il foro sulla destra è destinato alla regolazione dello zero.

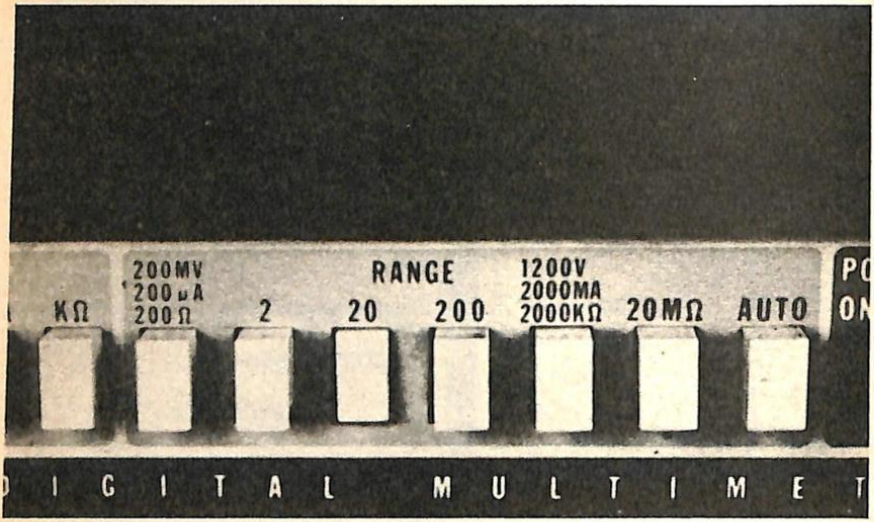


Fig. 6.-Posizioni di misura sul selettore di un tester digitale.

di vista dell'utilizzazione pratica presentano caratteristiche migliori, anche se il loro costo è abbastanza elevato.

Le principali differenze esterne consistono nel fatto che il risultato della misura si presenta su uno *schermo o display* in forma numerica, il selettore di funzioni ha normalmemte la forma di un pulsante o tasto, ed è necessario un cavo per l'alimentazione dalla rete, anche se alcuni modelli dispongono di un gruppo di batterie, ricaricabili o meno, con le quali possono avere un'autonomia simile a quella dei tester analogici.

Questi tester svolgono le loro funzioni per mezzo di un amplificatore interno e di circuiti addizionali, che realizzano la conversione dei valori ottenuti in forma digitale, e che a loro volta vengono convertiti in forma numerica per eccitare il display.

Quindi non richiedono, salvo nel caso siano utilizzati come amperometri, passaggio di corrente nel circuito sotto misura, dal momento che non devono eccitare nessun quadrante ad ago.

Di conseguenza presentano una resistenza interna molto più alta quando funzionano come voltmetri.

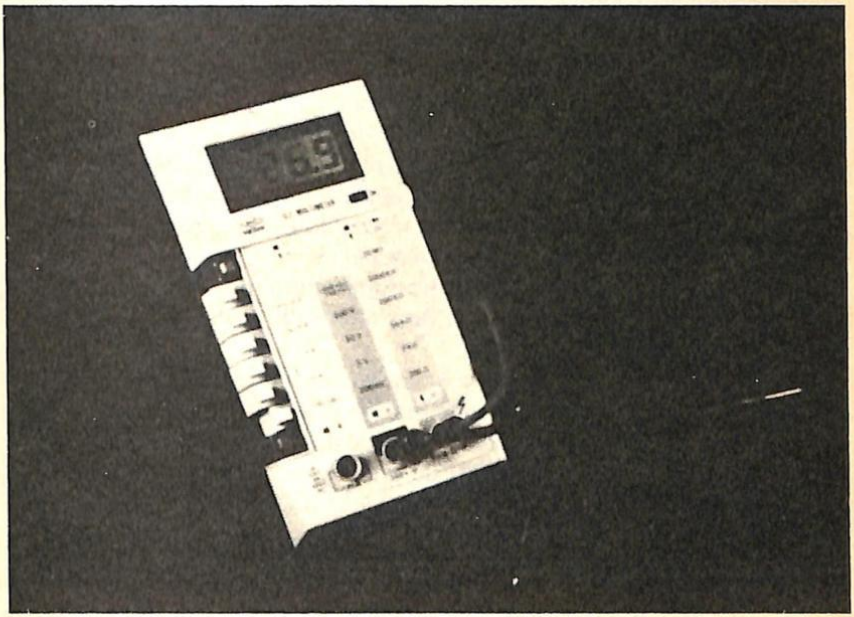


Fig. 7.-Tester digitale portatile con alimentazione a batterie.

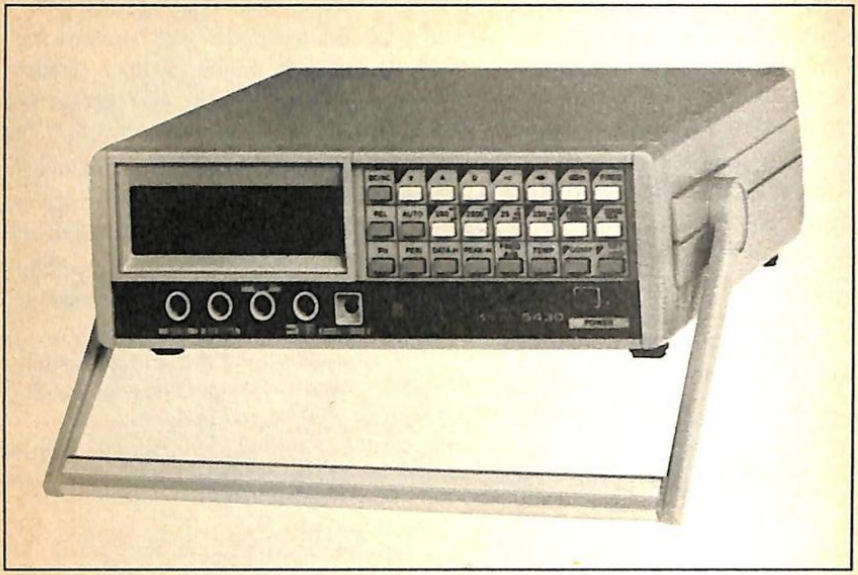


Fig. 8.-Indicazione della polarità sul display di un tester digitale.

Principio di funzionamento

I principi di funzionamento di questo tipo di tester sono essenzialmente differenti da quelli visti per gli analogici. Senza voler entrare in molti dettagli, diremo che le misure si ottengono per *comparazione* della grandezza esterna con una di riferimento molto precisa, interna al tester.

Anche i modi di funzionamento possono essere molteplici; descriveremo sommariamente uno di questi, per farci un'idea di come funzionano queste apparecchiature.

Supponiamo che il tester abbia internamente una tensione di riferimento pari esattamente a 10 V. Un circuito interno genera una *tensione di rampa* (così chiamata per la sua somiglianza a una scala), in modo che parta da 0 e termini a 10 V. Supponiamo che ciascun gradino della rampa rappresenti un incremento di 0,1 V; esisteranno quindi 100 gradini.

La tensione da misurare viene confrontata costantemente con la tensione di rampa, e viene incrementato un numero di gradini proporzionalmente al valore della tensione misurata.

Ogni volta che si incrementa la rampa di un gradino, un altro circuito in-

terno conta un passo (memorizzerà tanti passi quanti sono i gradini).

Nel momento in cui la tensione di rampa uguaglia o supera quella proveniente dall'esterno, il contatore smette di sommare i passi, e il valore contenuto in quel momento nella sua memoria viene inviato a un indicatore digitale. Se, per esempio, ha contato 56 passi, su cento che può produrre la rampa, è ovvio che la tensione esterna sarà di 5,6 V.

Tutto questo processo, mostrato nella Fig. 9, si svolge in una frazione di secondo, per cui si hanno in pratica decine e centinaia di misurazioni al secondo, che vengono inviate all'indicatore digitale. Con questo procedimento così semplice si può arrivare alla lettura di una tensione.

In modo simile si potranno ottenere misure di corrente e di resistenze, sia in continua che in alternata.

Naturalmente, quanto più è piccolo l'aumento della tensione di riferimento (il gradino), maggiore precisione avrà lo strumento. Questa precisione si traduce all'esterno con un maggiore o minore numero di cifre digitali visualizzabili.

Così, si parla di strumenti a 2, 3, 4 e più cifre, ciascuna delle quali può assumere valori compresi tra 0 e 9.

Esistono in commercio una gran quantità di modelli di strumenti di tipo digitale: con più o meno cifre (precisione), con la polarità della misura visualizzata sul display (Fig. 10), con il valore di fondo scala scelto dallo strumento stesso (*autorange*), ecc. Per quanto riguarda gli indicatori in sé, possono essere costituiti da *diodi LED* (Fig. 11), da *cristalli liquidi* (LCD, da Liquid Crystal Display), da *tubi fluorescenti*, ecc.

Una volta venivano molto utilizzate delle valvole elettroniche che funzionavano secondo principi simili ai tubi di scarica a gas, o tubi fluorescenti;

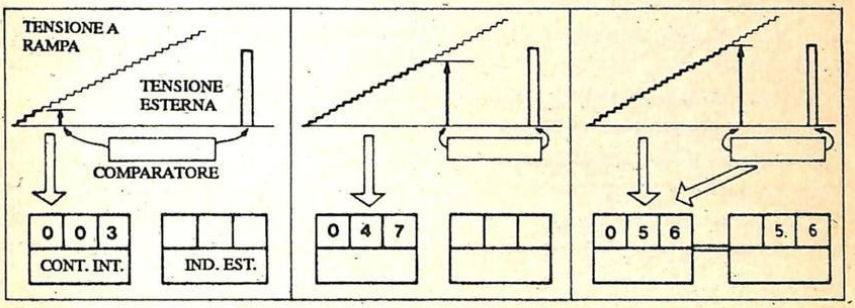


Fig. 9.-Funzionamento schematizzato di un tester digitale. Quello qui mostrato non è l'unico principio impiegato.

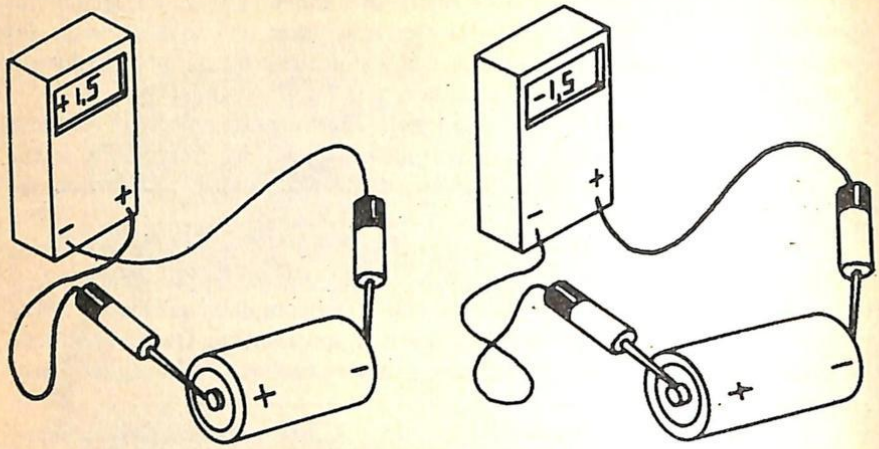


Fig. 10.-In un tester digitale non è necessario tenere conto del verso di circolazione della corrente, poichè sarà lo stesso strumento a segnalarlo.

avevano i loro elettrodi a forma di digit (da 0 al 9), e quando veniva fornita la tensione di funzionamento adeguata, rimaneva acceso l'elettrodo che aveva la forma della cifra da indicare, mentre gli altri restavano invisibili. Questo tipo di componente è stato sempre meno utilizzato, e nei tester portatili è stato completamente abbandonato.

Al contrario di quanto accadeva con quelli analogici, i tester digitali, grazie alla loro circuiteria elettronica, ammettono segnali di frequenza elevata nelle corrispondenti scale a corrente alternata.

Quindi, non è strano vedere che è possibile misurare segnali con frequenze fino a 200-300 KHz con la stessa precisione e esattezza delle grandezze a corrente continua, cosa impensabile in un tester analogico.

Pertanto, per misure ragionevolmente buone nella vasta gamma audio, è consigliabile utilizzare questo tipo di tester, lasciando quello classico per misure in continua a frequenze medio-basse nella gamma audio.

La misura di resistenza e continuità elettrica si realizza in modo simile a quella descritta per gli apparecchi analogici, nel libro 2 di questa stessa collezione.

Se il valore ohmico ottenuto è più grande del valore massimo consentito dalla scala, il display indicherà il massimo valore che è in grado di indicare in quella scala, dopodichè sarà necessario passare alla seguente.

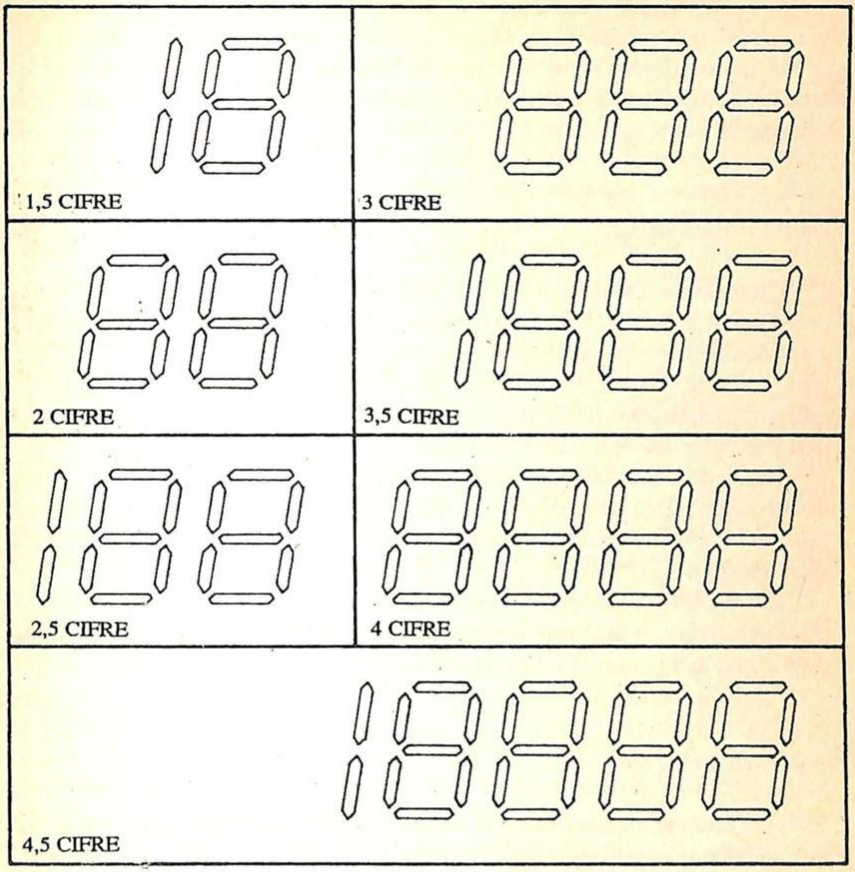


Fig. 11.-Diversi tipi di indicatori a LED.

Normalmente questa circostanza è avvertibile dall'utilizzatore, perchè il tester presenta sul display una indicazione che si illumina in modo intermittente, o si accende un segnale luminoso. Se con la scala scelta non si ottiene alcuna lettura, sarà necessario, per raggiungere la massima precisione, passare a scale inferiori, fino a riuscire ad attivare la cifra situata più a sinistra, che è la più significativa.

E' necessaria anche la *regolazione dello zero*, ma deve essere svolta solo dopo un certo periodo di funzionamento, poichè non è necessario ripeterla in caso di variazione della scala.

Per questa operazione si dispone di un regolatore interno all'apparecchiatura, raggiungibile attraverso un foro con un cacciavite a taglio fine, e segnalato dall'indicazione "*CAL ZERO*" o simile.

E' inoltre fondamentale che non sia presente nessuna alimentazione sul circuito o componente sul quale si effettua la misura, perchè altrimenti ci troveremmo di fronte agli stessi problemi visti con gli apparecchi analogici.

Misure di tensione

Quando si effettuano misure di tensione, è necessario specificare se si è in continua o alternata. Nel primo caso non è necessario, nella maggior parte dei modelli, tener conto della polarità della misura, poichè verrà indicata dallo stesso display tramite l'accensione di un segno (+) o (-), che indicherà se i puntali di misura sono stati collegati con la stessa polarità o con polarità contraria rispetto a quelli di ingresso al tester.

La scala scelta, deve essere quella più appropriata per il valore che si pensa di misurare; se il valore ottenuto oltrepassa quello massimo di fondo scala, non esiste pericolo di danneggiamenti, a meno che non sia un valore eccessivamente alto.

Questo fatto viene segnalato dallo strumento in modo simile a quello descritto per le misure di resistenze. La massima precisione si otterrà nella scala che ci permette di visualizzare la cifra più significativa.

Misure di intensità

La misura di intensità di corrente si realizza in modo completamente simile a quella descritta per i modelli analogici, anche se in questo caso non è indispensabile posizionare i puntali in modo corretto perchè, come nelle misure di tensione, sarà il display che ci indicherà la polarità tramite la visualizzazione dei simboli (+) e (-).

Questi tester non sono condizionati durante il loro funzionamento da nessuna posizione determinata, potendosi adottare la situazione più appropriata alle condizioni di lavoro di ciascun momento.

Scelta del modello più adeguato

Uno dei fattori principali da tener presente nella scelta di un tester digitale è, senza alcun dubbio, il *numero di digit* o cifre con cui viene espressa la

misura realizzata. Inoltre, questo è uno dei parametri che più condizionano il prezzo dello stesso, a parità delle altre caratteristiche.

Ovviamente quante più cifre presenta la lettura, migliore e più precisa sarà la misura realizzata. Tuttavia, si deve mirare sempre all'aspetto pratico delle cose, che normalmente ci porta a un risparmio dal punto di vista economico.

Pensiamo a una misura qualsiasi. Per esempio la tensione alternata di una rete di distribuzione elettrica. In un determinato momento, misurando con un tester a cinque cifre la tensione di rete a 220 V, questa potrà risultare di 218,96 V. Con un altro tester a tre cifre la stessa lettura darà 219 V.

Quale delle due misure occorre avere? Nella stragrande maggioranza dei casi sarà sufficiente la lettura a tre cifre, poichè la lettura a cinque cifre fornisce una informazione supplementare che, in pratica, può non essere considerata. In questo caso l'elevato numero di cifre non ha utilità pratica.

E' conveniente l'impiego di meno di tre cifre? Dipende dai valori di fondo scala che si desiderano misurare. Con due cifre, la massima lettura che si può avere direttamente è 99, che risulta insufficiente in molti casi.

Posto che con due cifre si possano avere 100 letture differenti (da 00 a 99), la precisione generale (indipendente da quella propria dello strumento) sarà dell'1%. In qualunque di questi casi, e supponendo la circuiteria elettronica del tester sufficientemente buona, le cifre di precisione sono più che sufficienti.

Altre soluzioni

Esiste quindi una grande differenza tra gli indicatori a due cifre e quelli a tre cifre, e nella scala superiore, tra quelli a tre cifre e quelli a quattro. Per sopperire a questa mancanza, sono stati progettati indicatori che incorporano una prima cifra aggiuntiva che può indicare solamente i valori 0 e 1, in modo che in un indicatore a due cifre si possano effettuare letture da 000 a 199; in pratica 200 letture diverse, il doppio delle precedenti. Questo tipo di indicatore si dice a 2 cifre e 1/2.

Possiamo quindi vedere che, con l'inclusione di questa cifra, si amplia notevolmente il margine e la precisione della misura, poichè con 2 cifre e 1/2 si ottiene un valore di fondo scala di 199 e una precisione dello 0,5%, mentre con un'altro da 3 cifre e 1/2 si ottengono valori fino a 1999, e una precisione dello 0,005%.

Altre migliorie introdotte in questo senso sono, ad esempio, quella di fare in modo che la prima cifra possa assumere i valori 0, 1, e 2, per cui si avranno strumenti da 2-2/3 cifre, o 3-2/3; questi indicatori non sono però molto

utilizzati. La ragione principale dell'aumento dei prezzi dei tester con molte cifre, non sta nel numero di cifre stesso, ma nell'enorme precisione che deve avere la circuiteria elettronica che misura la grandezza elettrica.

Se, per esempio, questa precisione è dello 0,1 % (che è già buona) e l'apparecchio ha sei cifre, a nulla ci servirà che il tester visualizzi come risultato della misura 218,962 V, se, considerata la precisione, l'errore può essere di 0,2 V (0,1% della lettura). Evidentemente, sono superflue quanto meno le ultime due cifre.

Per riassumere, possiamo dire che i tester a 2 cifre e 1/2 hanno comunque un campo di applicazione abbastanza ridotto. Un tester a 3 cifre e 1/2 risulterà adatto nella stragrande maggioranza dei casi. I modelli con più di 3 cifre e 1/2 sono consigliabili solo quando la precisione della lettura diventa un fattore indispensabile nel momento della scelta dello stesso.

Selezione automatica

Una delle precauzioni principali che deve essere osservata con un tester normale (analogico o digitale) è, precisamente, quella di scegliere una scala di misura il cui valore di fondo scala non possa essere superato dalla grandezza reale del parametro sotto misura.

Chissà quanti tester sono stati danneggiati perchè si è tentato di misurare la tensione di rete quando erano predisposti sulla scala di 50 μA; o una tensione continua quando, inavvertitamente, era predisposto per misurare resistenze.

Un numero sempre maggiore di tester moderni comprende nelle proprie caratteristiche più interessanti, quella della scelta automatica della scala di misura, lasciando solo il compito di indicare quale grandezza elettrica si voglia misurare (volt, ampere, ohm, ecc.)

Come si può facilmente capire, questa caratteristica è, nella pratica, estremamente importante, perchè libera completamente le mani (e la mente) dal noioso compito di cambiare il valore di fondo scala quando, per esempio, si sta misurando, alternativamente, una tensione di decimi di volt e un'altra di alcune decine di volt.

Il principio teorico di questo apparecchio è molto semplice, e si basa sull'utilizzo di vari circuiti comparatori, i quali stabiliscono diverse tensioni di riferimento.

Immaginiamo di disporre del circuito mostrato in Fig. 12, nel quale si trovano quattro amplificatori operazionali collegati come comparatori.

Se il valore della tensione di entrata non supera gli 0,01 V, tutti gli operazionali avranno il loro ingresso negativo a una tensione maggiore di quella

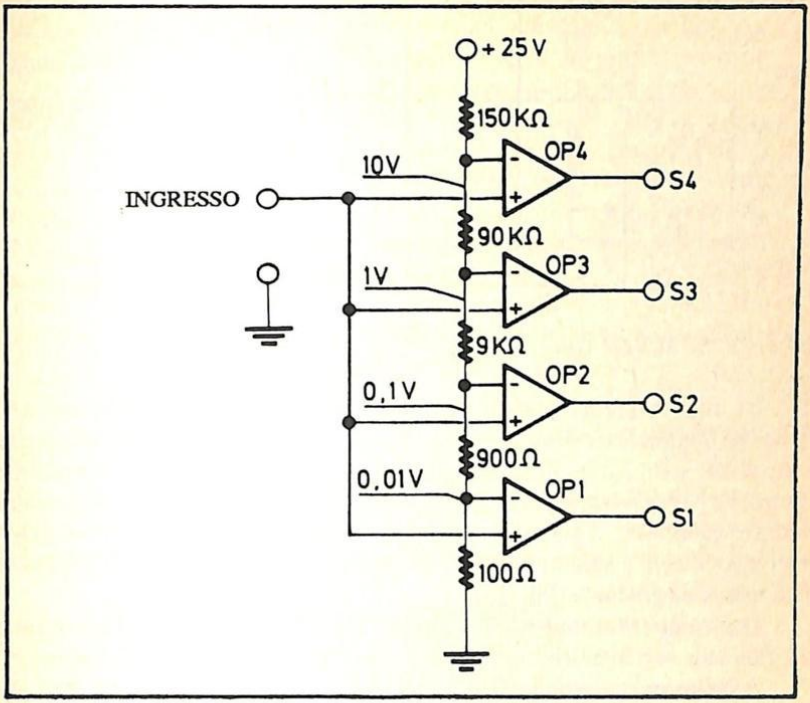


Fig. 12.-Circuito dei comparatori.

dell'ingresso positivo; pertanto, tutte le uscite saranno a livello basso (0 logico).

Se, per esempio, la tensione da misurare è di 0,7 V, gli operazionali OP3 e OP4 saranno nella stessa condizione di prima, mentre, sugli ingressi positivi di OP1 e di OP2 si avrà adesso una tensione maggiore di quella negativa, per cui S1 e S2 saranno a livello logico alto (1 logico).

In questo modo si può realizzare la tabella seguente, nella quale si verifica che gli stati logici delle uscite variano in funzione della tensione applicata all'ingresso. Questa particolarità può essere utilizzata da un circuito associato (schema a blocchi del tester di Fig. 13) che seleziona una scala tra quelle a disposizione.

La grandezza da misurare viene inviata anche a questo circuito che seleziona la scala appropriata, e il risultato viene inviato al display, che fornisce una lettura diretta del valore misurato.

Tabella 1

Tensione ingresso		*S1*	*S2*	*S3*	*S4*	*Scala selezionata*
da	*a*					
0 V	0,01 V	0	0	0	0	0,01 V
0,01 V	0,1 V	1	0	0	0	0,1 V
0,1 V	1 V	1	1	0	0	1 V
1 V	10 V	1	1	1	0	10 V
10 V	100 V	1	1	1	1	100 V

Altri strumenti ad ago

Un altro tipo di strumento impiegato tempo addietro, è quello che si basava sulla *dilatazione* che subiscono certi materiali quando si riscaldano. Detti materiali, sotto forma di filo, si disponevano in modo che la corrente da misurare li percorresse; il passaggio di questa corrente provocava un riscaldamento di questo filo, il quale aumentava la sua lunghezza e, per mezzo di adeguati meccanismi a base di molle e poli, si otteneva lo spostamento di un ago su di una scala graduata (Fig. 15).

Questo tipo di strumento era in grado di misurare tanto la continua quanto l'alternata, segnalando in questo caso direttamente il valore efficace.

Attualmente tali strumenti non sono più utilizzati, a causa della loro scarsa precisione e affidabilità, e all'inerzia alla misura (si doveva aspettare che il filo si riscaldasse per poter effettuare la misura); inoltre subivano l'influenza della temperatura ambiente alla quale operavano.

Un gruppo di strumenti particolari è quello che realizza le misure in una forma indiretta rispetto alla grandezza elettrica in prova.

Il caso più tipico è quello delle *termocoppie*. In queste, la corrente da misurare viene fatta passare attraverso un filo resistivo che si riscalda. Il calore prodotto viene applicato nel punto di contatto tra due metalli differenti (chiamata *coppia termoelettrica*), in cui si genera una piccola tensione elettrica proporzionale all'aumento di temperatura subito.

La misura di detta tensione fornirà indirettamente il valore della corrente che circola nel filo riscaldato (Fig. 16).

Altri tipi di strumenti vengono impiegati nel mondo audio, e sono a tutti molto familiari.

Uno di guesti è quello costituito da una fila di LED (o componenti simili) che si accendono proporzionalmente al segnale che viene fornito. In realtà questo è uno pseudo misuratore, perchè richiede la presenza di un circuito elet-

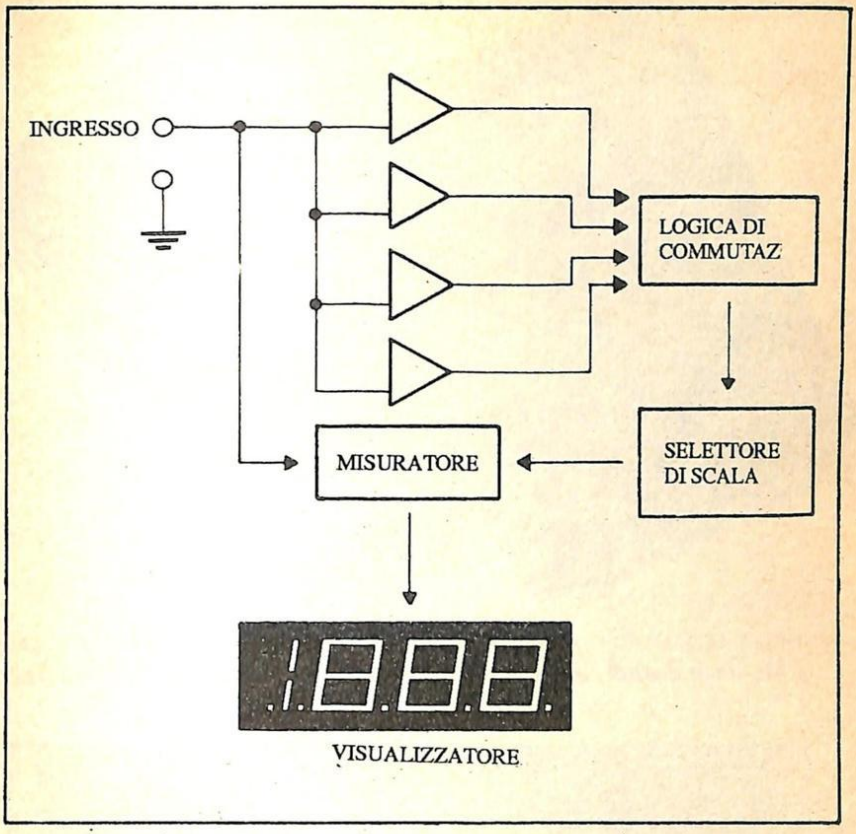


Fig. 13.-Schema a blocchi completo del tester.

tronico tra il segnale da misurare e l'indicatore. Questo circuito interpreta le variazioni di tensione del segnale, e le traduce accendendo un numero maggiore o minore di diodi LED.

Infine, viene ricordato un altro tipo di strumento al quale non si è abituati, costituito dallo *stroboscopio*, che la maggior parte degli impianti stereofonici incorpora sul piatto del giradischi.

Questo è uno strumento comparatore, più che misuratore, perchè non permette di conoscere la velocità di rotazione (salvo in alcuni modelli molto sofisticati), ma solo se è superiore o inferiore a una velocità precedentemente stabilita come corretta.

Fig. 14.-Tester digitali con selezione automatica di scala e polarità.

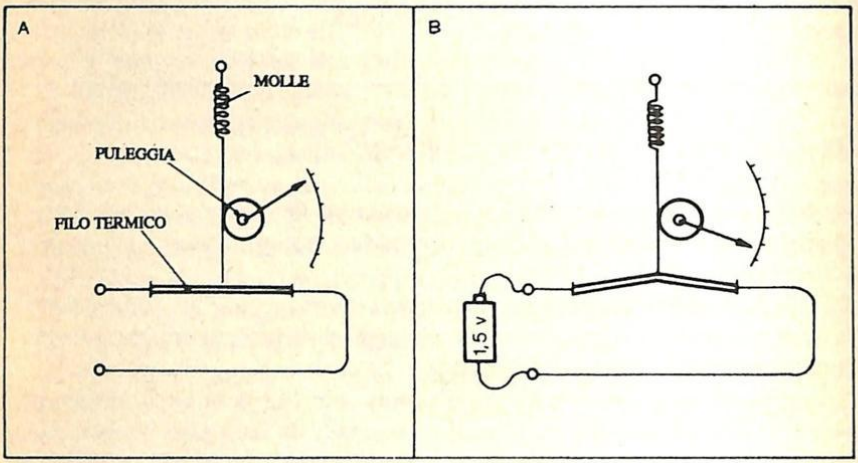


Fig. 15.-Principio di funzionamento di uno strumento di tipo termico.

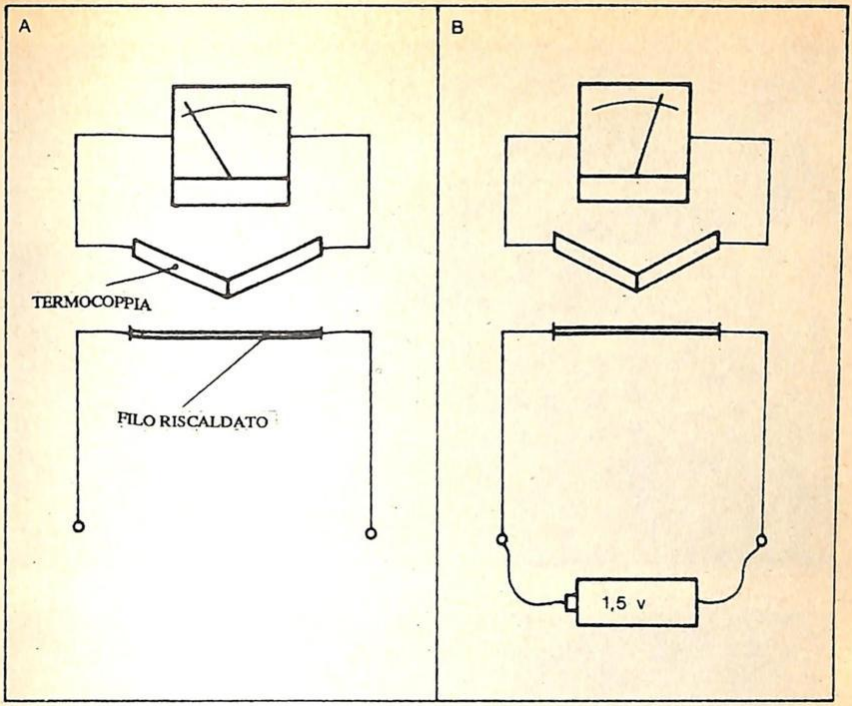
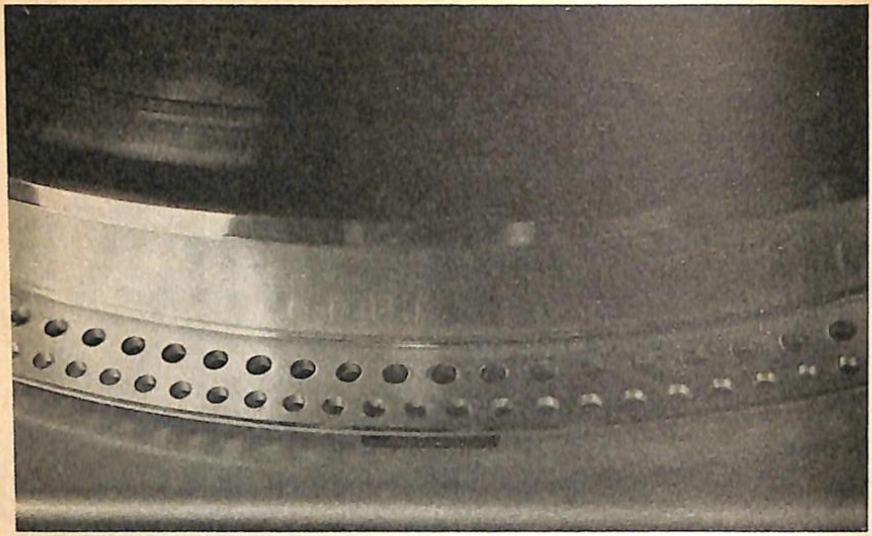


Fig. 16.-Principio di funzionamento di uno strumento che utilizza una termocoppia.

Fig. 17.-Misuratore di segnali a base di diodi LED. Questo tipo di indicatore richiede un circuito elettronico che attivi il numero di diodi adeguato.



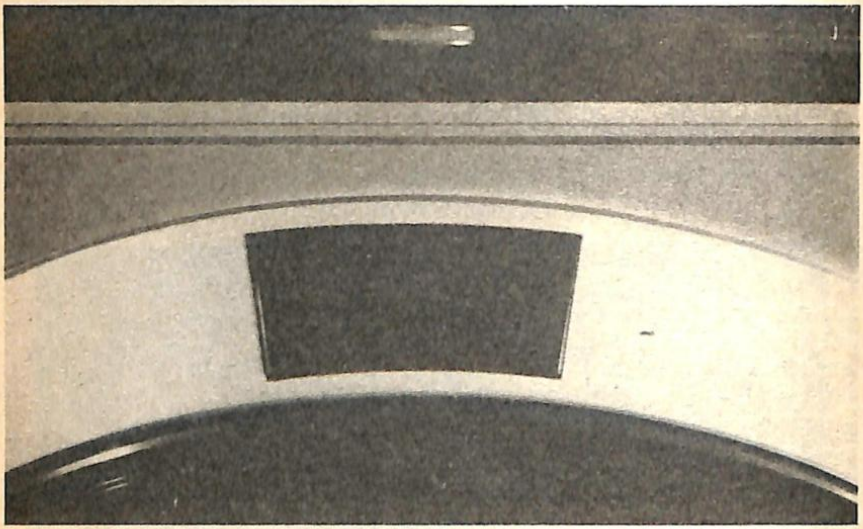


Fig. 18.-Un misuratore della velocità di rotazione del piatto di un giradischi è quello costituito dallo stroboscopio.

CAPITOLO 6

COSTRUZIONE DI UN TESTER

La costruzione di un tester è molto semplice, al punto che dovremo tenere presente soltanto delle semplici regole commentate nel testo, che saranno quelle che applicheremo nella pratica.

Parametri e calcoli

Due dei parametri più importanti che si devono tenere presenti in un tester, sono l'*esattezza* e la *precisione* delle misure che questo può effettuare.

Entrambi i parametri dipendono a loro volta dalla precisione e esattezza dei componenti impiegati nella sua realizzazione, per cui le resistenze impiegate devono essere scelte con una tolleranza dell'1% o minore. Naturalmente si possono anche scegliere resistenze con una tolleranza del 5% o del 10%, anche se in questo caso è necessario fare una selezione accurata, per verificare che i valori delle resistenze che si vogliono utilizzare corrispondano realmente a quelli necessari.

Questa selezione deve essere fatta con uno strumento di sufficiente precisione (1% o meno).

La parte fondamentale del tester, il *galvanometro*, dovrà essere della maggiore sensibilità possibile. Presso i negozi specializzati del settore, è facile trovare strumenti con valore di fondo scala di 50 μA, e con una resistenza interna di 3.000 Ω.

Con questi valori si potranno eseguire tutti i calcoli necessari per la costruzione di uno strumento con una sensibilità di 20 KΩ/V, che è ragionevolmente accettabile. In primo luogo, dobbiamo stabilire i valori di fondo scala necessari.

Quindi, per misure di intensità, potremo scegliere i valori di 50 - 150 -

500 mA e di 1,5 - 5 - 15 - 50 - 150 - 500 μA. Per misure di tensione continua, potremo stabilire i valori di 0,5 - 1,5 - 15 - 150 - 500 V.

Per il calcolo delle resistenze che bisogna inserire in parallelo al galvanometro, per il suo funzionamento come misuratore di corrente, dobbiamo applicare la seguente equazione:

$$R_{par} = \frac{I_o \times R_{int}}{I_{ie} - I_o}$$

dove ciascuno dei simboli ha il seguente significato:

R_{par} = resistenza da inserire in parallelo al galvanometro;

I_o = corrente di fondo scala del galvanometro utilizzato (nel nostro caso 50 μA);

R_{int} = resistenza della bobina mobile del galvanometro (nel nostro caso 3.000 Ω);

I_{ie} = corrente che si desidera a fondo scala sul galvanometro (Fig. 1).

Per i valori di fondo scala scelti precedentemente, si ottengono i valori di resistenza forniti nella tabella A. Come si può osservare, per la scala dei 50 μA non è necessario introdurre nessuna resistenza in parallelo con lo strumento.

Per il calcolo dei valori delle resistenze che devono essere inserite in serie al galvanometro per il suo funzionamento come voltmetro, ci possiamo avvalere della seguente equazione:

$$R_{ser} = \frac{V_{ie}}{I_o} - R_{int}$$

dove i simboli hanno i seguenti significati:

I_o e R_{int} = analoghi a quelli descritti precedentemente per il funzionamento da amperometro;

R_{ser} = resistenza da inserire in serie al galvanometro;

V_{ie} = tensione che si desidera assegnare al fondo scala del galvanometro (Fig. 1).

Per i valori di fondo scala scelti in precedenza, si ottengono i valori di resistenza riportati nella tabella B.

Tabella A

I_{ie}	50 μA	150 μA	500 μA	1,5 mA	5 mA	15 mA	50 mA	150 mA	500 mA
R_{par}	—	1500 Ω	333 Ω	103 Ω	30,3 Ω	10 Ω	3 Ω	1 Ω	0,3 Ω

Tabella B

V_{fe}	0,5 V	1,5 V	5 V	15 V	50 V	150 V	500V
R_{ser}	7 KΩ	27 KΩ	97 KΩ	297 KΩ	997 KΩ	3 MΩ	10 MΩ

Inoltre è anche possibile aggiungere una scala per misure di resistenze, aggiungendo un paio di resistenze fisse, un potenziometro di regolazione, e due pile da 1,5 V del tipo a stilo. Con i valori scelti, la lettura a centro scala sarà di 30 KΩ.

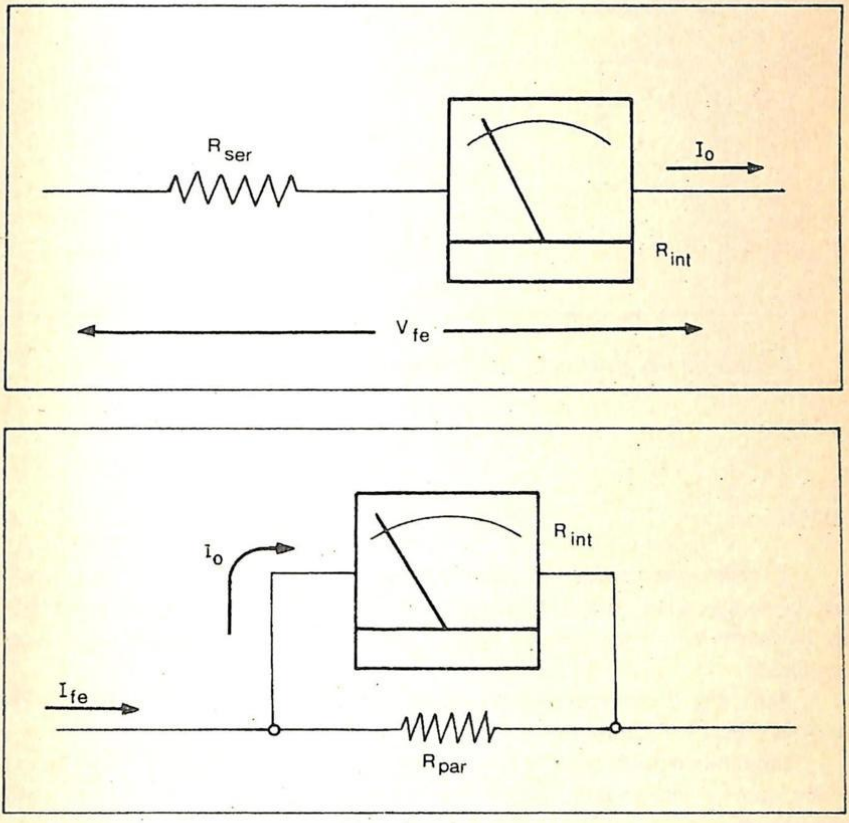


Fig. 1.-Sotto, schema equivalente e simboli utilizzati per il misuratore di intensità di corrente. Sopra, schema equivalente e simboli utilizzati per il misuratore di tensioni elettriche.

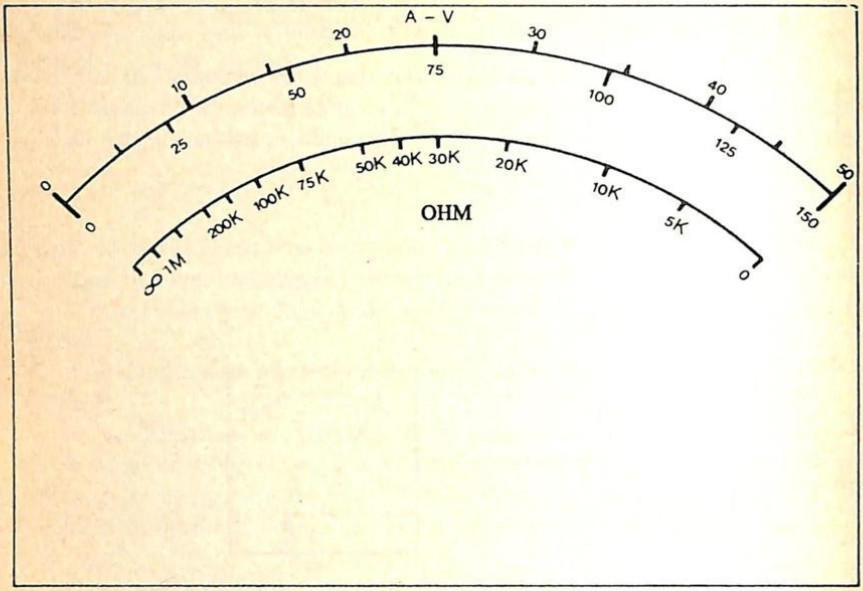


Fig. 2.-Scale da integrare nel galvanometro con i valori proposti dal testo.

Scala

E' utile e conveniente cambiare il frontespizio dello strumento con un altro che comprenda i valori di fondo scala scelti, compresi quelli della scala delle resistenze. Si possono anche aggiungere a questo frontespizio scale non comprese.

Nella Fig. 2 vengono mostrate queste scale, prendendo come base quella dello stesso galvanometro.

Finalmente possiamo dare uno schema pratico di montaggio (Fig. 3), nel quale, come si può vedere, si è omesso l'uso del commutatore, sostituendolo con una connessione volante, e un numero di prese femmine tali da poter realizzare tutte le misure.

Lo schema è dato con tutti i valori teorici ricavati precedentemente. Osservate che la resistenza da inserire in serie per il funzionamento come vol-

tmetro, si ottiene disponendo in serie tutte quelle utilizzate nelle scale inferiori, rispetto a quella su cui si realizza la misura. Questo presuppone l'impiego di valori più facili da riscontrare sul mercato.

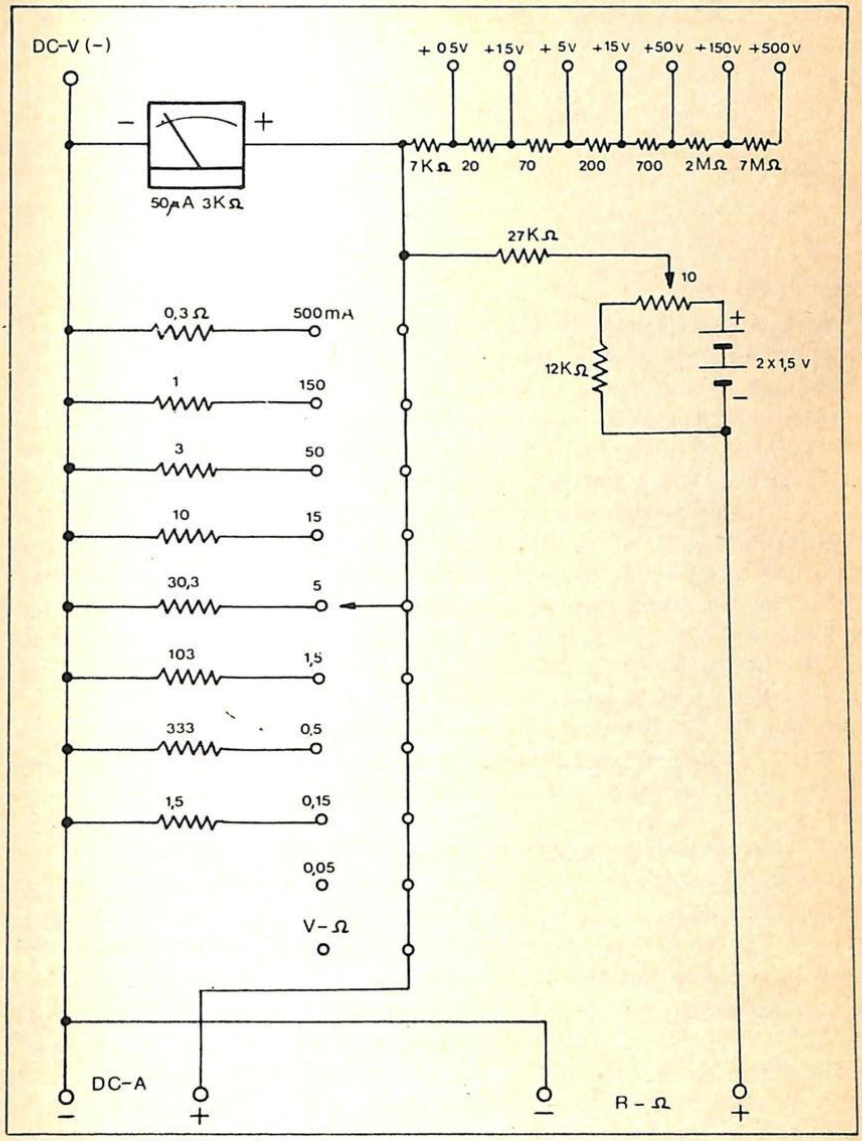


Fig. 3.-Schema teorico del tester sperimentale commentato nel testo.

CAPITOLO 7

GENERATORI DI SEGNALI

I tester sono in grado di misurare diversi segnali con qualsiasi forma d'onda, e gli oscilloscopi sono in grado di mostrarci come è realmente tale onda. Però, da dove esce questo segnale, questa forma d'onda che vogliamo misurare? Durante il funzionamento normale delle apparecchiature audio, per esempio, i segnali provengono dalla sorgente (capsule, magnetofoni, radio, ecc.), passano nei circuiti amplificatori, e arrivano agli altoparlanti o casse che li trasformano in suoni.

Salvo rare eccezioni, questi segnali non sono i più adatti per realizzare delle misure. Questo per molteplici ragioni: l'ampiezza e la frequenza di questi segnali non sono costanti, contengono una enorme quantità di armoniche, la forma del segnale non è, normalmente, prevedibile, ecc. In queste condizioni è molto difficile misurare ampiezze, distorsioni e risposte in frequenza.

E' necessario quindi disporre di una nuova fonte di segnale che possa simulare in qualche modo quelli che si incontrano nella pratica, e che nello stesso tempo sia facile da maneggiare e da adattare a ciascuna necessità concreta.

Questo tipo di apparecchiatura è conosciuto, di norma, con il nome di *generatore di segnali*.

I generatori di segnali sono strumenti costruiti per funzionare da eccitatori per determinati sistemi, con lo scopo di simulare qualsiasi condizione di ingresso che può verificarsi in pratica, e così facilitare l'analisi completa del comportamento del circuito in prova.

Di base, i generatori di segnali hanno nel loro interno un circuito oscillatore, che è in grado di produrre una forma d'onda la cui frequenza può essere controllata per mezzo di un comando esterno.

Questo comando, costituito da una manopola (come nei sintonizzatori radio), segnala sulla scala connessa la frequenza del segnale prodotto.

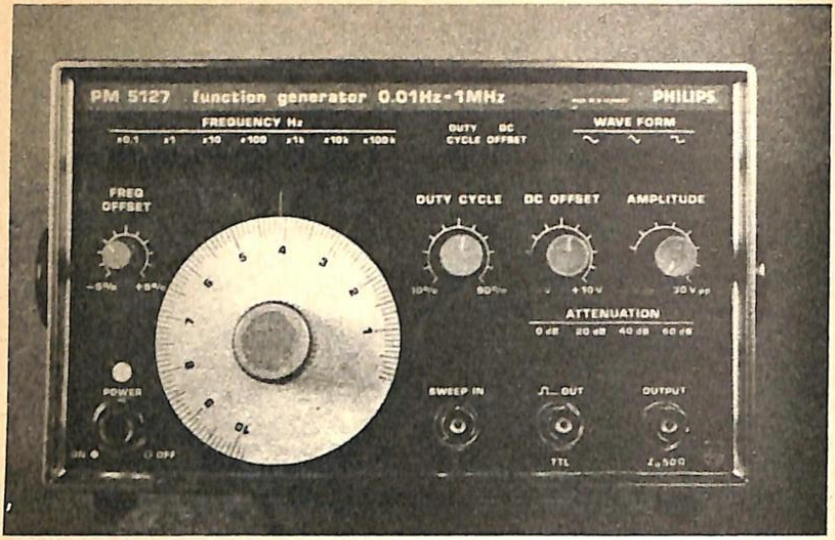


Fig. 1.-Generatore di funzioni di tipo medio. Questo modello può generare le tre forme d'onda di base: sinusoidale, triangolare e quadra.

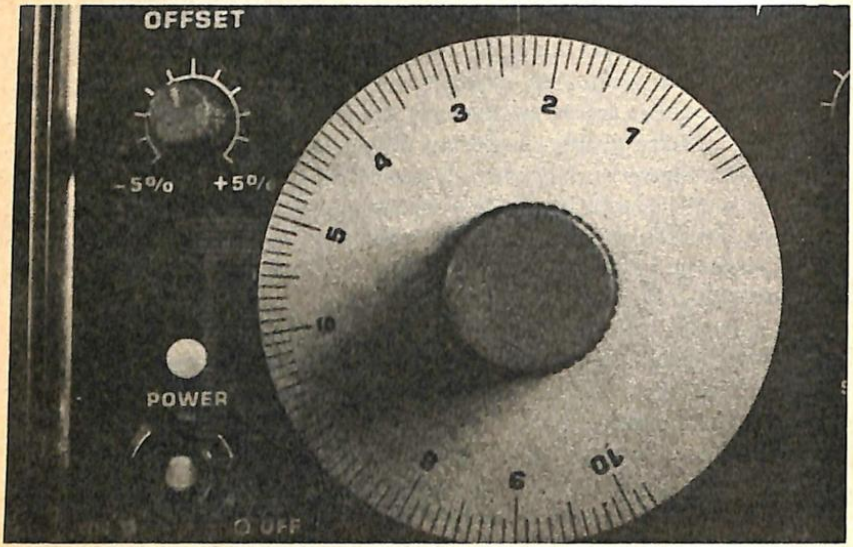


Fig. 2.-Dettaglio del comando o manopola, che controlla la frequenza di uscita del generatore.

Forme d'onda

La *forma d'onda* che incontra il più ampio numero di applicazioni è, senza dubbio, quella *sinusoidale*, che, come si sa, è quella presentata dai toni puri, generati, per esempio, da uno strumento musicale (di tipo convenzionale o elettronico). Qualsiasi altra forma d'onda, per completa che sia, può essere sempre matematicamente scomposta in una somma di toni puri di ampiezza adeguata. Pertanto, un generatore di segnale, soprattutto quelli che vengono utilizzati nel mondo audio, deve essere in grado di produrre questa forma d'onda.

Esistono altri due tipi di forma d'onda molto facili da generare, e con campi di impiego molto vasti, che sono la *triangolare* e la *quadra*.

Lo strumento in grado di produrle si chiama *generatore di funzioni*. Un segnale triangolare è quello formato da variazioni lineari della sua forma (chiamate *rampe*) che presentano alternativamente pendenze crescenti e pendenze decrescenti. Il valore di queste due pendenze può essere lo stesso (ma con segno opposto), o diverso.

L'onda *quadra*, o rettangolare, è quella che presenta due livelli fissi di tensione, con bruschi salti dall'uno all'altro. La permanenza a questi, durante i due distinti periodi, positivo e negativo, può essere uguale (onda quadra), o diversa (onda rettangolare), nel qual caso si definisce una percentuale di permanenza al livello più alto in funzione della durata totale del periodo.

Questo valore è conosciuto con il nome di *ciclo utile* (in inglese duty-cycle), e nel caso di segnali simmetrici equivale al 50% (Fig. 3). Quando la permanenza a uno dei due livelli è molto breve se comparata con quella dell'altro, si ottiene una sequenza di impulsi (positivi o negativi).

In qualsiasi caso, è importante che il tempo di transito da un livello all'altro (tempo di salita o di discesa) sia il più breve possibibile.

Armoniche

Tanto le onde triangolari quanto quelle quadre, rettangolari o gli impulsi, sono ricche di *armoniche*, e cioè, di toni puri di diverse ampiezze, le cui frequenze sono multipli interi di quella fondamentale, che viene determinata dal periodo di ripetizione dell'onda originale.

In questo modo, la generazione di una di queste forme d'onda equivale alla miscelazione di molteplici toni puri, aspetto che può risultare interessante in particolari tipi di prove. Ciò nonostante, e precisamente a causa di questa grande ricchezza armonica o tonale, si devono adottare certe precauzioni per il suo utilizzo, poichè non è difficile causare, per esempio, una sovrasca-

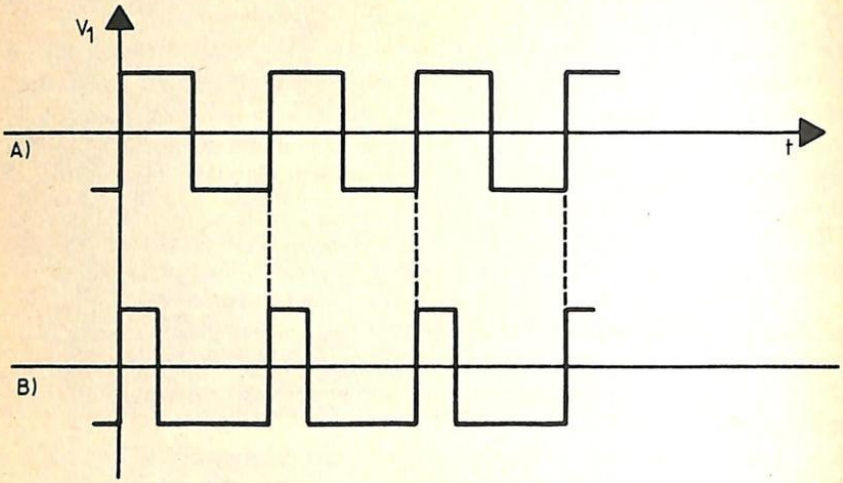


Fig. 3.-Due differenti cicli utili (duty-cycle), in un'onda quadra. a) Quando la permanenza ai due livelli è simile, si ha il 50%. b) In questo caso la durata del livello alto è la quarta parte del periodo totale, corrispondendo a circa il 25%.

rica nel livello di potenza di un amplificatore, se non vengono utilizzate adeguatamente.

Per ampliare maggiormente le conoscenze su questo importante tema, consigliamo di consultare la letteratura a questo riferita, prima di cominciare a operare con segnali di questo tipo.

Altri parametri

Parametro importantissimo in tutti i generatori di onde sinusoidali, è la *distorsione* che si produce in questa forma. La distorsione indica le variazioni che l'onda reale presenta rispetto a un'onda sinusoidale teoricamente perfetta; si deve cercare di mantenere queste distorsioni al di sotto dell'1%.

In pratica, la distorsione equivale all'ottenimento di un tono puro della frequenza considerata, unito con armoniche di frequenze multiple. Quanto minore risulterà il valore di distorsione, tanto minore sarà l'ampiezza di tali armoniche.

Altri due parametri che bisogna tenere in buona considerazione, sono l'*esattezza* della frequenza generata, e la *stabilità* della stessa.

I vecchi generatori di segnali a valvole elettroniche avevano uno dei loro maggiori problemi nella stabilità, poichè il riscaldamento dei componenti utilizzati faceva derivare il valore della frequenza scelta. Ai giorni nostri, con i componenti normalmente utilizzati, il problema è decisamente ridotto, e si possono ottenere più facilmente stabilità ottimali.

Infine, bisogna dire che l'*impedenza* di uscita dei generatori di segnali deve essere bassa. Nella pratica è normale incontrare valori di impedenza compresi tra i 50 e i 600 Ω, che sono valori sufficientemente bassi per le applicazioni più correnti.

Gamme di frequenza

I segnali elettrici con cui opera un'apparecchiatura elettronica sono molto variabili in ampiezza e frequenza. Le apparecchiature audio possono essere attraversate sia da segnali con ampiezze di pochi millivolt, che da segnali con frequenze fino a circa 100 KHz.

Viceversa, un *sintonizzatore* radio può rendere udibile la modulazione di una portante di pochi decimi di microvolt di ampiezza, la cui frequenza risulti superiore a 100 MHz. Le esigenze sono molto varie e difficili da soddisfare con una sola apparecchiatura, ragione per cui i generatori di segnali si distinguono in due categorie separate: quelli a *bassa frequenza*, e quelli ad alta frequenza o *radiofrequenza*.

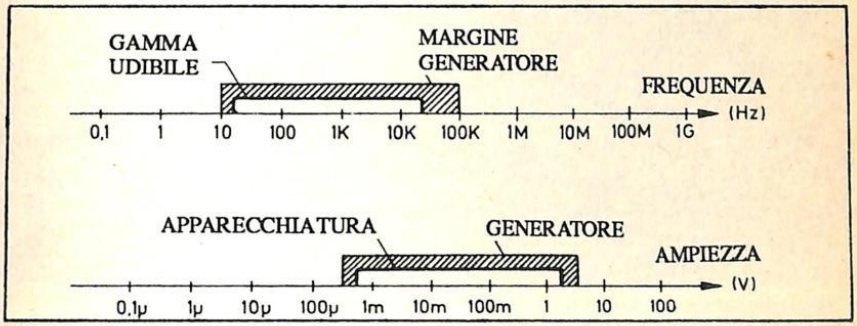


Fig. 4.-Margini consigliabili di frequenza e ampiezza per un generatore audio.

Un generatore di bassa frequenza deve essere in grado di generare da 20 Hz a 20KHz almeno, dato che in questa gamma è compreso lo spettro dei suoni udibili. Risulta conveniente estendere un poco il margine inferiore (fino a 10 Hz), perchè è interessante studiare il comportamento delle apparecchiature audio a frequenze così basse.

Più interessante ancora risulta il poter estendere il margine di frequenza oltre i 20 KHz, perchè anche se questi segnali non sono udibili, possono contenere le armoniche di determinati strumenti musicali, e se l'apparecchiatura audio non è in grado di riprodurli correttamente, si possono verificare distorsioni che turbano il suono o cambiano il tono di tali strumenti.

Riassumendo, è utile che il generatore di bassa frequenza sia in grado di integrare segnali con frequenze comprese tra 10 Hz e 100KHz, come minimo.

Gamma di ampiezze

I segnali utilizzati dalle apparecchiature di bassa frequenza sono normalmente di piccola ampiezza, tranne che negli stadi di potenza in cui a volte si raggiungono alcune centinaia di volt. Ma è proprio l'apparecchiatura sotto pro-

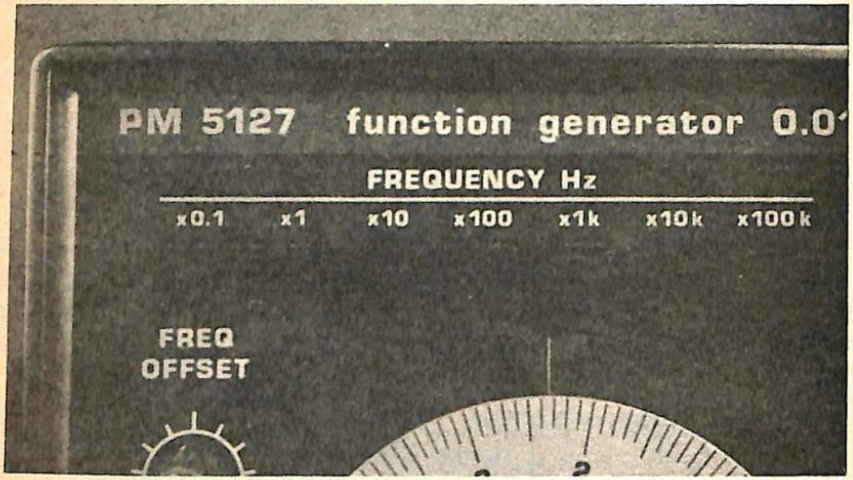


Fig. 5.-Selettore della banda di frequenza in uscita. Il valore indicato dal pulsante si moltiplicherà per quello indicato dalla manopola di controllo.

Tabella 1. Relazione tra decibel e percentuale di attenuazione.

Attenuazione (dB)	*Attenuazione (%)*	*Rimanente (%)*
0	0	100
-1	10,9	89,1
-2	20,6	79,4
-3	29,2	70,8
-5	43,8	56,2
-10	68,4	31,6
-20	90,0	10,0
-40	99,0	1,0
-60	99,9	0,1
-100	99,99	0,001

va che si incarica di ottenere tali ampiezze, a partire da altre più piccole in ingresso.

Il *livello più alto* di ingresso di un generatore di bassa frequenza non deve superare i 2 V efficaci, 3 V di picco, o 6 V picco-picco (le tre misure sono approssimativamente uguali). Per questo generatore sarà più che sufficiente.

Per quanto riguarda il *livello minimo* non è un grosso problema, poichè si tratta semplicemente di attenuare in modo maggiore o minore l'ampiezza massima.

E' interessante che l'apparecchiatura sia dotata di un attenuatore regolabile a passi discreti, e di altri componenti variabili (tipo i potenziometri), con i quali poter variare l'ampiezza tra zero e il livello massimo fissato dall'attenuatore fisso.

L'*attenuazione* del segnale viene misurata in decibel; si può dire che 20 dB equivalgono al 10% dell'ampiezza sopra la quale si stabilisce il riferimento.

Nella tabella 1 si fornisce una relazione tra decibel (negativi) e percentuali di attenuazione.

Spazzolamento in frequenza

Un'altra delle possibilità che offrono la maggioranza dei generatori, è quella di produrre una *variazione* continua della frequenza tra due estremi prefisssati, mediante un segnale di controllo esterno o generato internamente.

In questo modo si può analizzare rapidamente la risposta in frequenza di

un'apparecchiatura, tramite un oscilloscopio nel quale si osservi il segnale di uscita, oppure utilizzando un *registratore grafico* che disegni direttamente l'onda di uscita su di un foglio.

Questo modo di operare, conosciuto normalmente con il nome di *spazzolamento* (in inglese sweep) risulta di particolare interesse per realizzare lo studio su diverse apparecchiature elettroniche, relativo al controllo di frequenza. Possono essere citati i filtri sonori, gli equalizzatori normali e quelli grafici, i controlli dei toni, e altri circuiti o apparecchiature similari.

Generalmente si utilizzano due diversi metodi per realizzare uno spazzolamento in frequenza: *lineare* e *logaritmico*.

Nel primo, la variazione di frequenza è proporzionale al tempo, quindi a uguali intervalli di tempo operativo corrisponderanno uguali incrementi nel valore della frequenza.

La variazione logaritmica consiste nell'ottenere un incremento della frequenza tale, che a periodi di tempo uguali si ottiene una frequenza finale con valore multiplo di quella iniziale.

Per chiarire meglio le idee su questo ultimo concetto, supponiamo di effettuare uno spazzolamento logaritmico da 100 Hz a 10 KHz. Se prendiamo il

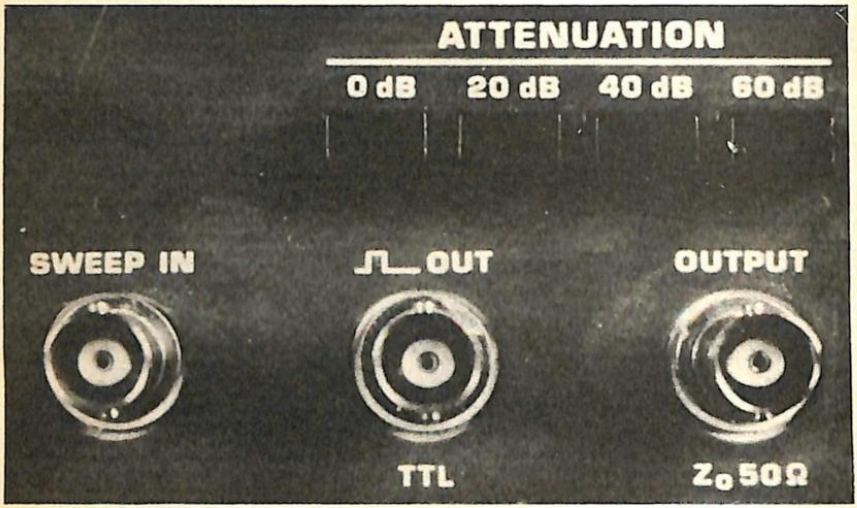


Fig. 6.-Dettaglio dei connettori di ingresso e di uscita. Quello di sinistra si utilizza per l'ingresso del segnale esterno di spazzolamento, e gli altri sono le due uscite: una speciale per l'onda quadra e l'altra generale.

tempo impiegato per moltiplicare per 10 il valore della frequenza iniziale (da 10 Hz a 1 KHz), osserviamo che coincide con il tempo impiegato per ottenere una seconda moltiplicazione per lo stesso fattore (da 1 KHz a 10 KHz); tuttavia, nel primo caso è stato prodotto un aumento di soli 900 Hz, mentre nel secondo è stato di 9000 Hz.

In fuzione del tipo di misura da realizzare, potrà essere impiegato l'uno o l'altro metodo, riservando generalmente il procedimento lineare per quei casi in cui il margine di variazione sia piccolo, e utilizzando quello logaritmico quando il percorso è grande, come per esempio quello che comprende la banda udibile da 20 Hz a 20 KHz; in altro modo non potrebbe essere effettuata una analisi dettagliata, poichè risulterebbe impossibile l'osservazione sullo schermo di un oscilloscopio per via della grande estensione del range.

I generatori di funzione moderni coprono una gamma di frequenze molto ampia. Gli estremi di questa gamma dipendono da ciascun modello di strumento, e possono andare da 0,1 Hz a 100 KHz per i modelli dal costo più ridotto, e da 0,01 Hz a 50 MHz in altri.

Caratteristiche dei generatori

Prendendo come esempio un'apparecchiatura di gamma media, possono considerarsi come tipiche le seguenti caratteristiche:

- banda di frequenza: da 0,01 Hz a 1 MHz;
- margine di misura: da 0,1 Hz a 1 MHz diviso in sette bande;
- regolazione di frequenze: mediante comando di regolazione continua tra 0,1 e 10,2, e selettore a sette posizioni indicate con x 0,1, x 1, x 10, x 100, x 1K, x 10K, e x 100K;
- precisione: ± 5% nelle posizioni x 0,1 e x 100K, ± 3% in tutte le altre;
- forme d'onda: sinusoidale, triangolare, quadra. Per mezzo del controllo del ciclo utile (duty-cycle), si possono ottenere variazioni in forma continua dal 10% al 90%, per le tre forme d'onda;
- distorsione: inferiore allo 0,4%;
- livello di uscita: 30 V picco-picco a circuito aperto;
- resistenza interna di uscita: 50 Ω;
- carico massimo: qualsiasi, in quanto protetto dai cortocircuiti;
- attenuatore: 4 posizioni a 0 dB, 20 dB, 40 dB e 60 dB e controllo continuo sui 23 dB;

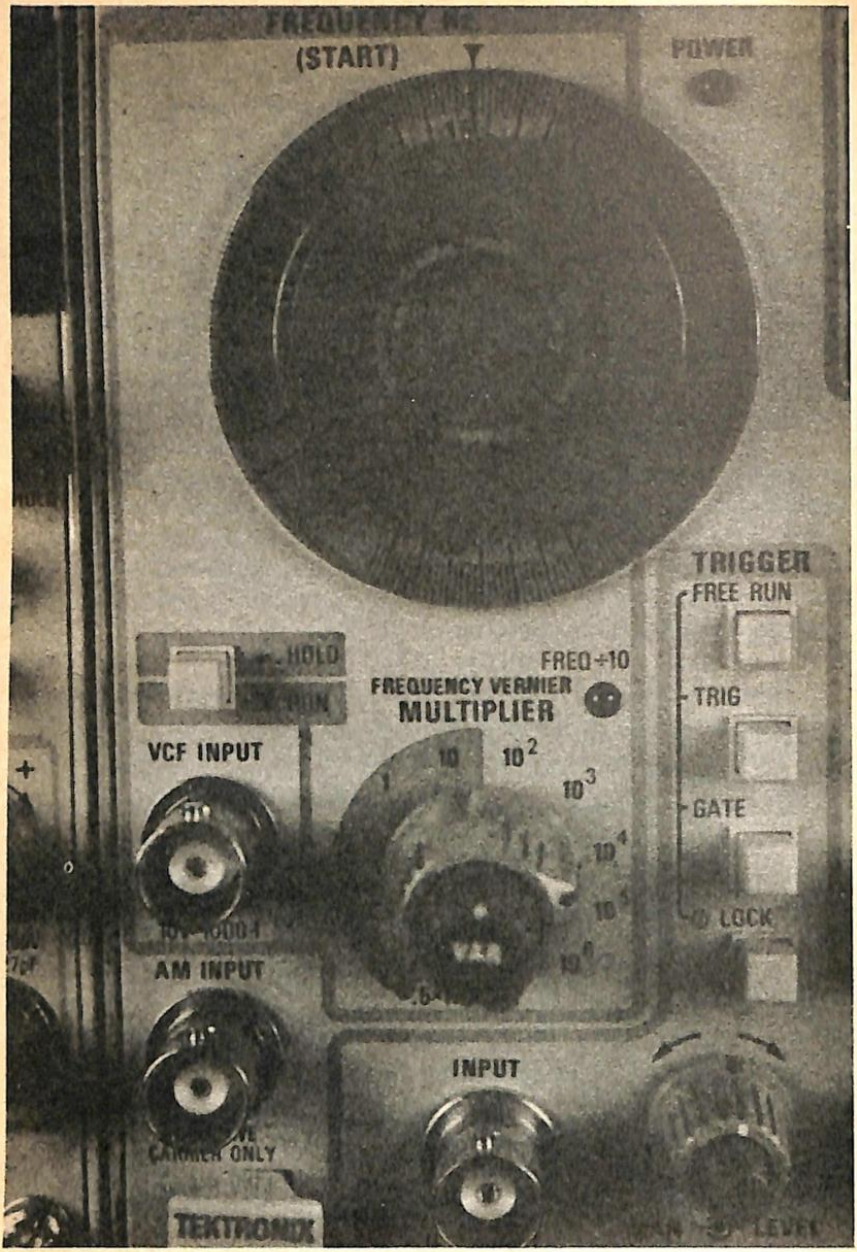


Fig. 7.-Dettaglio dei comandi di controllo di frequenza, che operano in modo simile a quelli del modello precedente.

- precisione del livello di uscita: superiore a 0,2 dB in qualsiasi posizione, misurato a 1 KHz;
- risposta in frequenza: ± 1% fino a 100 KHz, ± 3% da 100 KHz a 1 MHz nella posizione 0 dB, e ± 5% nella posizione -60 dB;
- spazzolamento in frequenza: mediante segnale di controllo esterno;
- margine dello spazzolamento: superiore a due decadi;
- caratteristiche dello spazzolamento: solo lineare;
- segnale di controllo necessario: 0,5 V per ciascun intervallo del selettore di frequenza, per esempio, da 3 a 4. Con una tensione crescente si ottiene uno spazzolamento ascendente e viceversa.

Altri generatori con maggior numero di funzioni includono altri controlli, che potrebbero essere i seguenti:

- spazzolamento interno: lineare o logaritmico;
- durata dello spazzolamento: da 100 s a 0,1 ms in sei decadi;
- segnale interno di controllo dello spazzolamento: accessibile esternamente con un livello variabile da 0 a 10 V;
- selezione dello spazzolamento: controllabile esternamente mediante un segnale da 1 a 10 V applicato all'ingresso corrispondente, con livello regolabile di selezione. Selezione manuale mediante un comando di controllo;
- selezione del segnale: si possono ottenere qualunque delle tre forme d'onda durante determinati periodi, tramite segnali esterni di selezione;
- sincronismo con segnali esterni: il segnale di uscita può essere sintonizzato in frequenza con un altro ingresso, e si ha un controllo di fase esterno per scegliere il più adatto;
- modulazione di ampiezza: il segnale di uscita può essere modulato in ampiezza mediante un segnale esterno, garantendo un 100% di modulazione per un'ampiezza della modulante di 5 V picco-picco.

Generatori di rumore

Si è provato che non sempre le prove effettuate su apparecchiature audio con segnali sinusoidali (toni puri), anche se di frequenza discreta e con

generatori di spazzolamento, sono la replica fedele dei segnali con i quali un'apparecchiatura audio lavora nella realtà, quando è collegata a delle capsule o dei magnetofoni.

Per questo motivo si sono fatti numerosi tentativi in questo senso, cercando di trovare forme di segnali che si avvicinassero il più possibile a quelle che le apparecchiature si trovano di fronte nel loro funzionamento pratico.

Sono stati così realizzati i *generatori di rumore*, che producono un tipo di segnale che, per l'udito, è un rumore nella piena accezione del termine, che però presenta una distribuzione di ampiezze e frequenze simili a quelle che vengono trattate dalle apparecchiature audio (musica, parole, ecc.).

Al concetto di *rumore* sono legati vari tipi dello stesso. Infatti si parla di *rumore bianco* (in inglese white noise), la cui distribuzione nello spettro audio contiene frequenze di tutti i valori con, approssimativamente, uguale ampiezza.

Il nome (bianco) deriva dalla similitudine con la luce bianca, che, anche se contiene componenti di tutti colori, la loro unione da origine alla sensazione del bianco.

Altra distribuzione importante è quella del *rumore rosa* (in inglese pink noise), molto utilizzata anche per queste necessità.

Generatori di radiofrequenza

Tutti i segnali radio sono composti in origine da una *portante* e da una *modulante*. Mentre quest'ultima contiene le informazioni utili trasmesse, l'al-

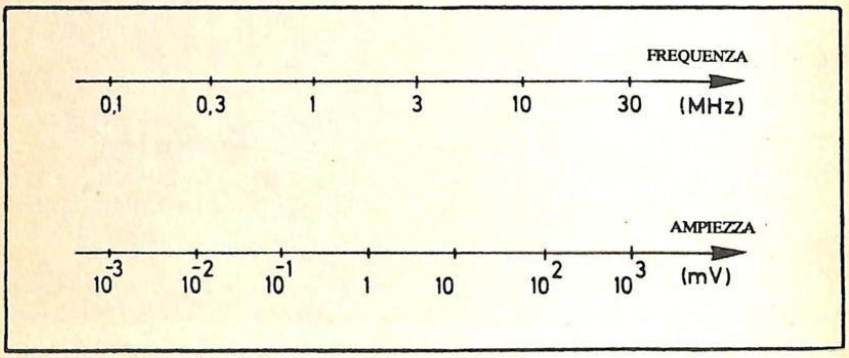


Fig. 8.-Margini di frequenza e segnale per un generatore di radiofrequenza.

Tabella 2. Bande di radiodiffusione

Banda	*Frequenza*
OL, LW	150-300 KHz
OM, MW	525-1.650 KHz
OC, SW	2,3,4,5,6,7,9,11,15,17,21,26 MHz
MF, FM	87-108 MHz

tra svolge la sola funzione di veicolo trasportatore.

Una emittente radio si distingue dalle altre per la frequenza della sua portante. Anche se possono esistere più emittenti che trasmettono sulla stessa frequenza, la separazione geografica tra le stesse si rende sufficientemente grande da non creare interferenze.

Quindi, quando si intendono misurare le caratteristiche di un sintonizzatore radio, la prima cosa di cui bisogna disporre è un'apparecchiatura in grado di generare portanti a diverse frequenze.

In questo caso bisogna dire che le possibili frequenze di una emittente possono variare da meno di 100 KHz fino a più di 1000 MHz, per cui, si centrerà la banda chiamata di *modulazione di ampiezza*, che copre da circa 150 KHz fino a 30 MHz approssimativamente.

Gli apparecchi ricevitori più diffusamente commercializzati comprendono solo determinate bande, che coincidono quasi sempre con quelle della radiodiffusione, delle quali si da un riassunto nella tabella 2.

Nonostante ciò, un generatore di segnali deve poter coprire l'intera gamma compresa tra 100 KHz (o minore se è possibile) e 30 MHz.

I segnali delle portanti sono sempre di forma sinusoidale, e per produrli si usa impiegare un oscillatore classico, di tipo Hartley, Colpitts o simili.

Tali oscillatori permettono di variare la frequenza generata, grazie all'inserimento di un condensatore o di una impedenza variabile. In generale, per coprire la gamma di frequenze completa, questa viene divisa in varie bande.

Sintetizzatori di frequenza

Modernamemte si tende a sostituire gli oscillatori classici con altri più esatti e affidabili. Per questo motivo vengono utilizzati i *sintetizzatori*, o apparecchiature che sono capaci di creare o sintetizzare un segnale di determinata frequenza, a partire da un'altra conosciuta, di valore molto preciso e stabile.

Il segnale di base attraversa alcuni circuiti moltiplicatori (la frequenza di

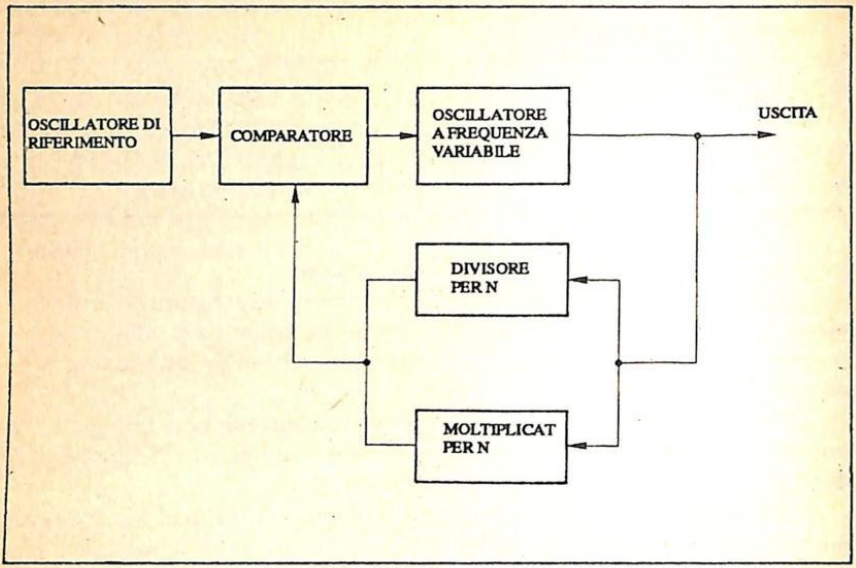


Fig. 9.-Principio di funzionamento teorico di un sintetizzatore.

uscita è un multiplo di quella di entrata). I *fattori di conversione* sono numeri interi, e se si dispone di un sufficiente numero di questi, all'uscita si potrà ottenere qualunque valore di frequenza, scegliendo semplicemente i fattori adeguati.

Anche se il principio di funzionamento è conosciuto sin dai primi passi fatti dall'elettronica, si è riusciti solo recentemente a costruire apparecchiature compatte, grazie alla miniaturizzazione raggiunta con i circuiti LSI a larga scala di integrazione.

Il pannello di comando di un sintetizzatore ha un selettore di frequenza di tipo digitale, sul quale si può selezionare il valore esatto che si desidera.

L'apparecchiatura legge la cifra, e realizza le moltiplicazioni e divisioni necessarie perchè all'uscita si ottenga esattamente il valore di frequenza selezionato. Inoltre, se la frequenza originale è molto stabile, lo sarà anche quella in uscita.

Modulazione di ampiezza

Una volta simulata la portante di trasmissione, si deve anche simulare l'*informazione* da trasmettere. Tale informazione consiste in un tono di frequenza fissa, normalizzato al valore di 400 Hz.

Nonostante ciò, molte apparecchiature presentano la possibilità di generare un segnale che copre la gamma delle basse frequenze fino a un massimo di 5 KHz, valore massimo che si può trasmettere in un canale a modulazione di ampiezza.

E' inoltre pratica corrente, che queste apparecchiature vengano fornite di un ingresso che consente di introdurre un segnale esterno e modulare la portante con lo stesso. Tale modulazione può essere per esempio, voce o musica, con la quale inoltre si proverà la fedeltà del ricevitore sotto prova.

La percentuale o *profondità di modulazione* è normalmente regolabile tra 0 e 100, grazie a un comando esterno che regola l'ampiezza relativa tra la portante e la modulante. Nel caso di alcune semplici apparecchiature, tale profondità è fissa, ed il suo valore è normalizzato al 30%.

Livelli

I *livelli di segnale* che sono impiegati in un ricevitore radio, sono molto più bassi che in un'apparecchiatura di bassa frequenza. Anche se tutti i ricevitori moderni incorporano dei circuiti automatici di controllo del guadagno, che evitano la saturazione di alcuni dei suoi stadi quando il segnale di entrata è troppo elevato, un segnale di 100 mV efficaci può sovraccaricarlo e impedirne il funzionamento corretto.

Pertanto, è molto importante che un generatore di radiofrequenza sia in grado di integrare con grande precisione segnali di ampiezza molto bassa, piuttosto che il contrario.

Il margine inferiore deve essere esteso come minimo fino a 1 μV (e se può essere più basso meglio ancora), mentre in alto è sufficiente arrivare a coprire 100 o al massimo 200 mV efficaci.

Modulazione di frequenza

La maggioranza delle trasmissioni effettuate sui 30 MHz, si realizzano sempre in *modulazione di frequenza*, con la notevole eccezione dei segnali televisivi, che a causa della grande larghezza di banda necessaria per la loro trasmissione, richiedono l'utilizzo di un tipo particolare di modulazione di

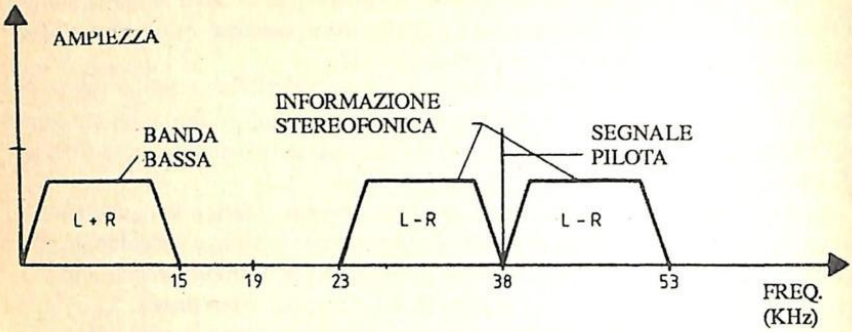


Fig. 10.-Struttura di un segnale FM-multiplexato.

ampiezza.

Come per la modulazione di ampiezza, esistono diversi metodi per modulare un'onda portante in frequenza. La quasi totalità delle comunicazioni stabilite sui 30 MHz utilizzano un tipo di modulazione chiamata comunemente MF a banda stretta, come succede per le bande aeronautiche, marittime e dei servizi civili.

Un'eccezione importante è costituita dalla banda di radiodiffusione in *modulazione di frequenza*, dove le emittenti commerciali hanno un canale disponibile di una larghezza di circa 300 KHz, contro i 50 KHz (25 KHz in alcuni casi) della modulazione a banda stretta.

Il generatore di segnale che deve essere utilizzato dipende, pertanto, dal tipo di apparecchiatura sotto prova. Quelli progettati per la banda commerciale coprono normalmente solo il margine della stessa (87 - 108 MHz), presentando caratteristiche proprie del tipo di modulazione, che si adattano alle norme internazionali stabilite per questa banda.

Tra queste norme risulta interessante la possibilità che il generatore di segnale sia in grado di produrre un segnale multiplo, che contiene informazioni di due canali audio separati, che corrispodono a quelli di una riproduzione stereofonica (Fig. 10).

Chiarimenti

Perchè si utilizzano i generatori di segnali?

Per poter effettuare l'analisi dettagliata del comportamento di un'apparecchiatura, simulando le possibili condizioni di eccitazione che si possono verificare nella pratica.

Quali sono i controlli indispensabili per un generatore di segnali?

Quelli corrispondenti alla frequenza del segnale di uscita e al livello della stessa, poichè con questi si potranno sempre conoscere e prefissare le condizioni di eccitazione dell'apparecchiatura a cui vengono applicati.

Che tipi di segnali si producono in un generatore di funzioni?

Normalmente le forme d'onda generate sono tre: sinusoidale, triangolare e quadra.

Che cosa è uno spazzolamento in frequenza?

E' un segnale la cui frequenza non è fissa, entro i due limiti prefissati, e che percorre tutti i valori intermedi tra questi estremi.

Quale è la principale applicazione dello spazzolamento in frequenza?

E' l'analisi del comportamento in frequenza di un'apparecchiatura elettronica, in modo rapido, soprattutto se si osserva con un oscilloscopio ausiliario la forma d'onda in uscita.

Quale differenza esiste tra uno spazzolamento lineare e uno logaritmico?

Che nel primo caso la variazione della frequenza è proporzionale al tempo trascorso, mentre nel secondo per tempi uguali si ottengono multipli della frequenza iniziale.

La banda di frequenza prodotta dal generatore può essere percorsa con un unico comando di controllo?

No, poichè perderà molto in precisione se si pretenderà di percorrere un intervallo tipico di 1 MHz con un unico controllo. Di norma si usa impiegare un secondo selettore che divide la banda completa in vari salti o frazioni, e che agisce come un fattore moltiplicativo del primo.

CAPITOLO 8

ALTRI STRUMENTI DI MISURA

Normalmente nel mondo audio ed elettronico si rappresentano certe caratteristiche o parametri, sotto forma di curve di variazione degli stessi in funzione della frequenza del segnale, del tempo, della distanza, dell'angolo di ascolto, ecc. Questo modo di procedere è ottimo, e in molti casi, si possono ottenere delle utili informazioni sul rendimento globale che si può ricavare da un'apparecchiatura.

Ottenere queste curve non è una cosa difficile; quindi, se si desidera (per esempio) conoscere la risposta in frequenza di un amplificatore, si può inviare al suo ingresso un segnale di ampiezza costante, la cui frequenza possa essere variata a piacimento (per esempio con un generatore di B.F.).

Annotando i valori delle ampiezze ottenute in uscita per diversi valori di frequenza, possono essere tracciati su di un grafico i punti corrispondenti a ciascuna coppia di valori ampiezza- frequenza. Unendo questi punti con una linea che li comprenda tutti, si ottiene la curva desiderata.

A svantaggio di questo metodo, c'è il fatto che risulta noioso, e se viene richiesta una certa precisione sul risultato finale, bisogna ricavare un elevato numero di punti.

Un'altro metodo per ricavare questo tipo di curve consiste nell'utilizzazione di un generatore di spazzolamento, con il quale si ottiene istantaneamente la prova a tutte le frequenze di spettro desiderate (variazione continua).

Se si dispone di un ago o di un pennino che si muove proporzionalmente al livello dell'uscita, e un foglio di carta che si muove sotto questo alla velocità adeguata, si ottiene la curva tracciata in modo semplice e continuo.

Registratori grafici

L'apparecchiatura che permette di realizzare questo tipo di curve viene definita di solito *registratore grafico*; è normale utilizzare anche il termine *oscillografo*, per la sua somiglianza con l'oscilloscopio.

Dobbiamo chiarire che prima era normale utilizzare il termine oscillografo per il tubo a raggi catodici e, per estensione, per l'oscilloscopio. Tuttavia, non crediamo corretto l'impiego di questa terminologia, poichè con l'oscilloscopio si può osservare la forma d'onda ma non si può registrarla, cosa che invece risulta possibile con l'oscillografo.

Gli oscillografi hanno almeno due canali, come gli oscilloscopi; uno di questi sposta la carta su cui viene effettuata la registrazione, alla velocità desiderata (normalmente viene tarato in unità di lunghezza per unità di tempo, come ad esempio, 0,1 cm/sec), mentre l'altro avrà il compito di spostare l'ago in funzione delle variazioni apportate dal segnale.

Per questo canale esiste anche il corrispondente amplificatore, il cui guadagno può essere regolato in modo da ottenere l'ampiezza della curva del valore desiderato.

In commercio si possono trovare oscillografi a posizionamento lineare o circolare. I primi sono utili per la tracciatura di curve di risposta, curve di impedenza, risposte di filtri, misure di potenza, misure di distorsioni, registrazioni grafiche delle curve, ecc. I secondi si mostrano utili quando si tratta di registrare le caratteristiche di direzionalità di microfoni, altoparlanti e elementi similari.

Tanto in un tipo di oscillografo, come nell'altro (lineare o circolare), è normale incontrare modelli con diversi canali verticali, che permettono il posizionamento di diversi aghi o pennini simultaneamente, e con i quali è possibile tracciare varie curve nello stesso tempo, al fine di comparare prestazioni di distinte apparecchiature, o registrare diversi parametri della stessa apparecchiatura in una data condizione.

Nel campo delle registrazioni grafiche, si stanno introducendo sempre più le tecniche che utilizzano gli *elaboratori*. Infatti, esistono programmi che permettono di ottenere dei dati su dei punti concreti (per esempio, la risposta in frequenza di un amplificatore per valori determinati dalla frequenza del segnale). Questi dati vengono immagazzinati nella memoria dell'elaboratore, che successivamente potrà tracciare la curva definitiva.

In pratica, è lo stesso procedimento descritto precedentemente, con la sola differenza che si possono ottenere una grande quantità di punti discreti, poichè per l'elaboratore rappresenta un lavoro minimo, che può essere svolto con rapidità e efficacia.

Ponti di misura

Si usa definire con il nome di *ponte*, una rete con quattro rami disposti come in Fig. 1.

Su due dei vertici opposti si applica una tensione continua o alternata in funzione dei casi, mentre sugli altri due si applica lo strumento di misura adatto, che può essere un amperometro, un voltmetro (in alternata o in continua), un auricolare, ecc.

Nel caso più generale i rami di un ponte sono *impedenze*; questo perchè presentano tanto una parte resistiva (puramente ohmica), quanto una parte reattiva (capacitiva o induttiva). Da qui prendono appunto il nome di ponti ad impedenza.

Un caso particolare è quello in cui le impedenze sono resistenze pure; questa configurazione è conosciuta con il nome di *ponte di Wheatstone*.

Provando quest'ultimo, per semplicità, si può dedurre che la tensione, rispetto alla massa, del punto A di Fig. 2 è data da:

$$V_A = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

mentre la tensione sul punto B sarà:

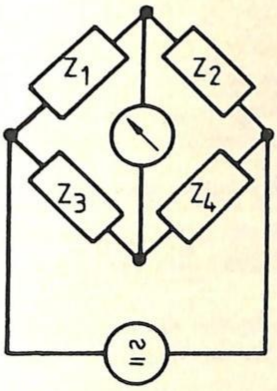


Fig. 1.-Ponte a impedenze.

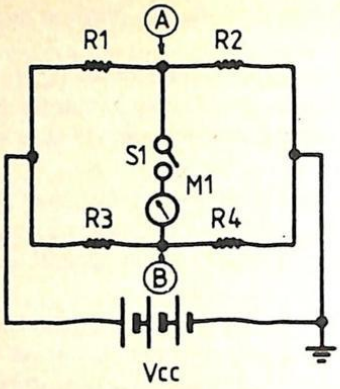


Fig. 2.-Ponte a resistenze.

$$V_B = V_{CC} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Se al chiudersi dell'interruttore S1 il milliamperometro M1 non segnala passaggio di corrente, significa che la tensione tra i punti A e B è nulla, oppure che le tensioni di entrambi i punti rispetto a massa sono uguali.

In tale situazione si dice che il ponte è in equilibrio, e allora si ricava:

$$V_A = V_B$$

$$V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_{CC} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

espressione che può essere semplificata e posta nella forma:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Applicazioni

Se nell'ultima equazione sono conosciuti tre valori su quattro delle resistenze utilizzate, si potrà ricavare il quarto valore con l'unica condizione che il ponte sia in *equilibrio*.

In generale, una delle tre resistenze di valore conosciuto viene sostituita con un potenziometro, in modo da poter arrivare all'equilibrio variandone il valore. Così, per esempio, se R_1 è la resistenza variabile (Fig. 3), e R_x quella di valore sconosciuto, si può porre:

$$R_x = R_1 \times \frac{R_4}{R_3}$$

in modo che, per un valore fisso del coefficiente R_4/R_3, si può tarare il cursore del potenziometro R_1 per ottenere direttamente il valore sconosciuto della resistenza R_x.

Il punto messo a massa in Fig. 2, è stato scelto per comodità di spiegazione, e solo come riferimento di tensione. Il ponte funziona esattamente nello stesso modo, se viene posto a massa un qualsiasi altro punto, oppure nessuno dei punti.

Le condizioni per l'equilibrio di un ponte a impedenza con tensione alternata, forniscono un risultato simile al precedente; quindi tale equilibrio implica, in generale, che debbano essere soddisfatte due ugualianze matematiche, una per la parte resistiva e l'altra per quella reattiva.

Componenti

Nella maggioranza dei casi, la precisione della misura finale è proporzionale alla *precisione* dei valori dei componenti utilizzati. Pertanto, sempre che sia possibile, si devono scegliere componenti con una tolleranza dell'1 % o inferiore.

Con ciò non è garantita la precisione dell'1 % nel risultato finale, perchè si devono tenere in considerazione gli effetti degli errori combinati, dei metodi di misura scorretti, ecc. Un valore ragionevolmente basso, con una scelta accurata, può essere del 3- 4 %.

Altro aspetto importante che incide sulla precisione della misura, è la costanza dei valori con il tempo e con altri agenti esterni. Così, per esempio, è importante che il *coefficiente di temperatura* dei componenti (variazione del loro valore nominale al variare della temperatura) sia il più basso possibile,

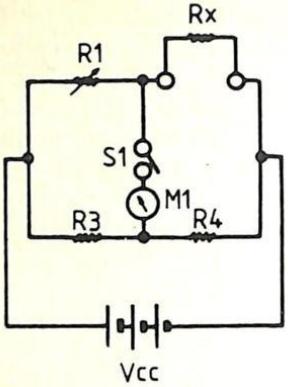


Fig. 3.-Ponte di Wheatstone.

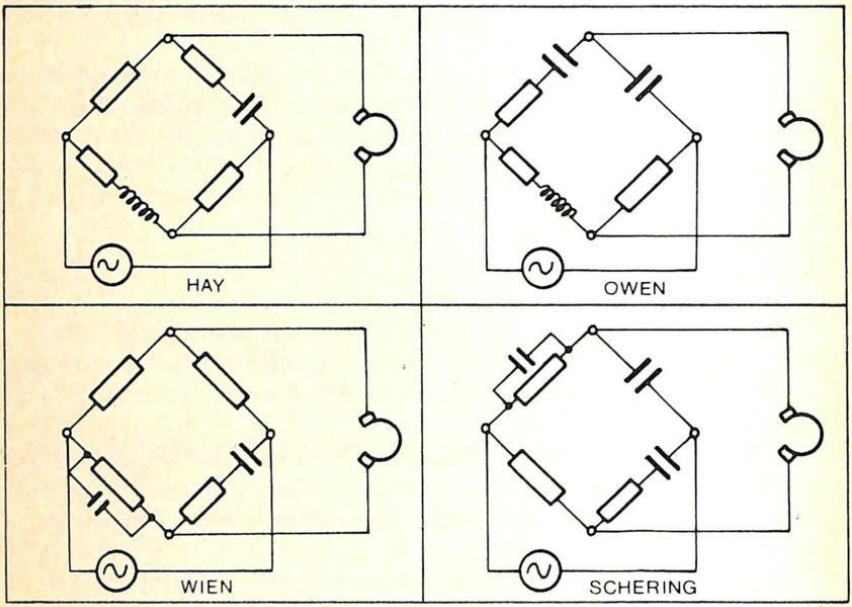


Fig. 4.-Diversi tipi di ponti a impedenza, nei quali i rami possono essere formati da elementi quali condensatori, bobine e resistenze.

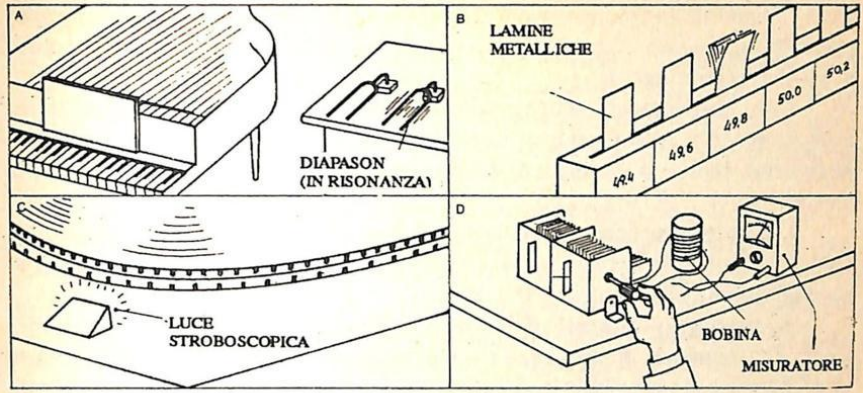


Fig. 5.-Diversi metodi per misure di frequenze. A) Con il diapason. B) Con lamine vibranti. C) Con uno stroboscopio. D) Con un circuito sintonizzato.

specialmente nel caso delle resistenze e dei potenziometri, che possono riscaldarsi durante la misura.

Nel caso dei potenziometri, è inoltre importante una buona *linearità*; questo significa, che, a uguali incrementi nel movimento del cursore, devono corrispondere uguali incrementi del valore della resistenza. Le resistenze e i potenziometri di carbone o similari non sono adatti per questi impieghi, perchè non soddisfano i requisiti richiesti. E' preferibile utilizzare resistenze a strato metallico e potenziometri Cermet.

Misure di frequenza

In molte occasioni è necessario conoscere la frequenza di un segnale, sia di tipo audio, che della portante di una emittente radio, o della rete di distribuzione dell'energia elettrica. Esistono diversi metodi per ricavarla, alcuni dei quali saranno visti di seguito.

Quando si tratta di misurare delle frequenze comprese nella gamma audio, si può utilizzare il *diapason*. Il diapason è formato da due bracci metallici, che quando vengono colpiti vibrano, producendo un segnale udibile di frequenza fissa, che dipende principalmente dalla lunghezza dei bracci, e che per un determinato diapason è sempre la stessa. Questa frequenza viene chiamata *di risonanza* del diapason.

Se nelle vicinanze del diapason viene prodotto un suono la cui frequenza è uguale o simile a quella di risonanza del diapason, questo si mette a vibrare. Posto che la frequenza del diapason sia conosciuta, quella del suono prodotto sarà perciò la stessa. Questo metodo è quello utilizzato per accordare gli strumenti musicali.

Con questo procedimento si potrà eseguire la misura di quei valori di frequenza che coincidono con quelli del diapason, che è normalmente un numero limitato. Inoltre il suo utilizzo è solo possibile per frequenze della gamma audio.

Un metodo meccanico molto simile a questo, è quello che viene utilizzato per misurare la frequenza della rete di distribuzione elettrica che, come si sa, è approssimativamente di 50 o 60 Hz.

Si dispongono una serie di lamine metalliche di lunghezza molto simile, ma la cui frequenza di risonanza sia leggermente diversa. E' facile ottenere, con frequenze di quest'ordine, differenze di 0,1 Hz, per cui si potranno disporre dieci lamelle con frequenza da 49,5 a 50,5 Hz.

Applicando simultaneamente su tutte le lamelle la frequenza di rete, una sola di esse entrerà in vibrazione, e ovviamente indicherà il valore della frequenza applicata.

Esiste anche un metodo *ottico* per la misura della frequenza o della velocità di rotazione, che è quello *stroboscopico*. Lo stroboscopio incorporato nei piatti dei giradischi è di frequenza fissa (quella esatta di rotazione degli stessi). Si può, nonostante ciò, costruire uno stroboscopio a frequenza variabile. Per far ciò si utilizza un *flash* (come quelli usati in fotografia), al quale si invia una serie di impulsi di frequenza conosciuta. Agendo in modo che il flash illumini l'oggetto in rotazione, si varia la frequenza dello stesso, fino a che un punto di riferimento fissato sull'oggetto in rotazione non risulta fermo; la frequenza di lampeggio del flash in quel momento, indica chiaramente la velocità di rotazione dell'oggetto.

Altro metodo che si basa sull'impiego di un circuito risonante, è quello che viene utilizzato dai *sintonizzatori* per la sintonia delle diverse portanti. Variando opportunamente i valori della capacità di sintonia o della bobina in parallelo con il condensatore, si può ottenere che la frequenza da misurare entri in risonanza. Basterà avere a disposizione una scala graduata, per ottenere la misura in modo semplice.

Questo procedimento è illustrato in Fig. 5.

Frequenzimetri digitali

In epoca recente ha fatto la sua comparsa sul mercato uno strumento che

effettua la ricerca dei valori della frequenza applicata utilizzando un altro sistema, e presentando inoltre la lettura del risultato direttamente in forma numerica. Si tratta del *frequenzimetro digitale*.

Questa apparecchiatura opera con un metodo di conteggio del numero dei cicli o periodi del segnale sconosciuto durante un tempo prefissato, chiamato *tempo di accesso*. Questo può variare da pochi secondi fino a qualche millisecondo, in funzione del valore cercato e della risoluzione che si vuole ottenere.

Il segnale di ingresso allo strumento viene applicato a un circuito interno, dove la sua ampiezza viene limitata, e dove viene amplificato e inviato ad un altro circuito dal quale si ottiene una onda quadra della stessa frequenza; tale circuito invia quest'onda a un circuito di accesso, incaricato di lasciar passare solamente il numero di cicli che vengono prodotti durante un certo periodo di tempo, fissato da un'altro segnale che viene applicato al secondo ingresso della porta di accesso.

Questo tempo, si ottiene tramite un oscillatore a elevata frequenza e un divisore, che la divide per un fattore variabile, dipendente dal range della mi-

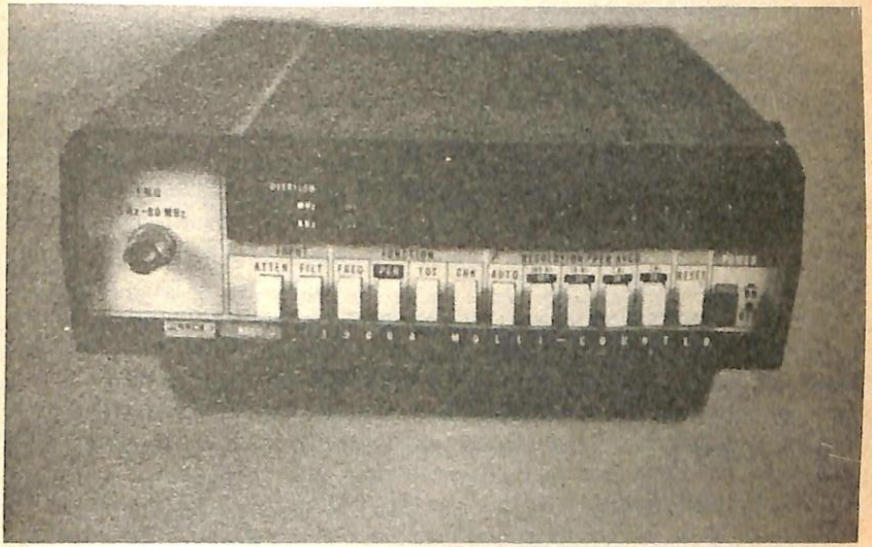


Fig. 6.-Frequenzimetro digitale in un modello che riunisce tutte le principali caratteristiche di questo tipo di apparecchiature.

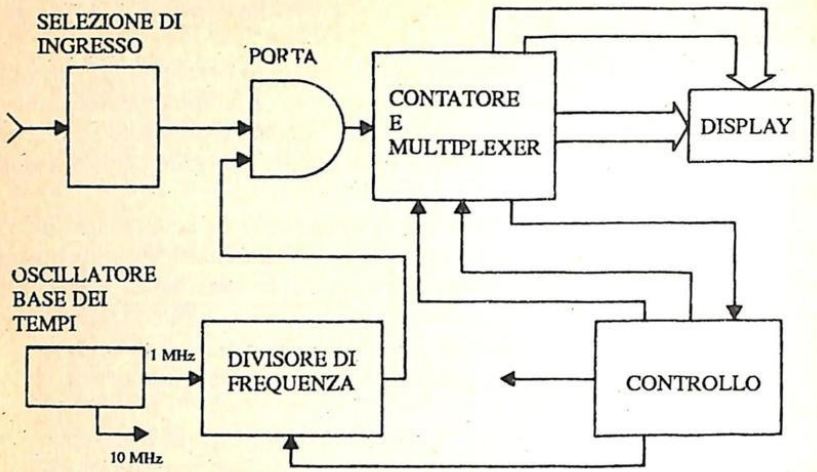


Fig. 7.-Schema a blocchi del frequenzimetro nel funzionamento come misuratore di frequenze.

sura, selezionato esternamente.

Se, per esempio, si seleziona una frequenza dell'oscillatore di 1 MHz, si possono ottenere divisioni per 10^4, 10^5, 10^6, e 10^7; supponendo di volere una risoluzione di 100 Hz, si sceglierà un fattore di 1 MHz / 100 Hz = 10^4, ottenendo un tempo di accesso di $1/10^4 = 0{,}1$ ms.

Il segnale ottenuto all'uscita della porta di accesso precedente arriva a dei contatori decadici, collegati in serie tra di loro, che calcolano il numero di cicli ricevuti durante il tempo prefissato, accumulando il risultato in una memoria; iniziano poi un altro ciclo completo di riscontro, e inviano il risultato al corrispondente display (Fig. 7).

Un altro modo di funzionamento del frequenzimetro è quello di misurare il periodo del segnale applicato, che come già detto, corrisponde al tempo impiegato dal segnale per effettuare un ciclo completo di variazione.

Per realizzare questa misura, si parte da un procedimento inverso a quello precedente, consistente nel contare una frequenza conosciuta, generata per un numero fisso di periodi dal segnale esterno.

Con questo sistema, il segnale che arriva alla porta di accesso è interno all'oscillatore, mentre quello sconosciuto viene inviato ad un circuito contatore, che genera il tempo di accesso quando si raggiunge il numero di cicli prefissati (normalmente 1, 10, 100, o 1000 periodi).

Il segnale di uscita della porta raggiungerà ugualmente i contatori, i qua-

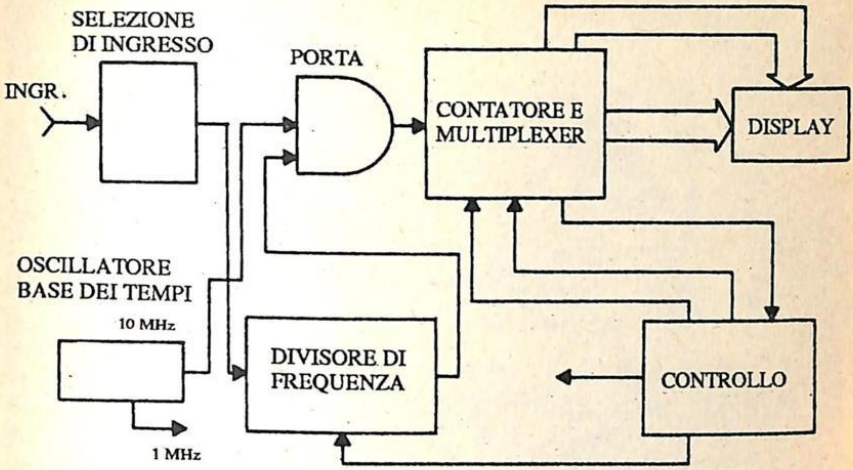


Fig. 8.-Diagramma a blocchi del frequenzimetro, nel funzionamento come misuratore di periodi.

li invieranno il risultato alla memoria, che a sua volta lo invierà al display, che lo visualizzerà sotto forma di tempo (secondi o frazioni di secondo), come mostrato in Fig. 8.

Esistono molteplici modelli di frequenzimetri, con maggiore o minore numero di cifre di misura, e con maggiore o minore frequenza massima di lettura, arrivando a raggiungere in alcuni casi i 100 MHz.

Analizzatore di spettro

Altro strumento sempre relazionato a misure di frequenza, è l'*analizzatore di spettro*. La funzione iniziale di questo strumento, era di separare le differenti frequenze o armoniche che conteneva un determinato segnale, analizzandone le ampiezze di ciascuna, tutto all'interno di una banda precedentemente stabilita.

Così, per esempio, se gli si applica un tono, o segnale sinusoidale puro, lo strumento risponderà che esiste una unica componente di frequenza uguale a quella del segnale, la cui ampiezza coinciderà esattamente con quella.

Se gli si applica il segnale di uscita di un amplificatore al cui ingresso era stato introdotto precedentemente un segnale puro, in seguito alle distorsio-

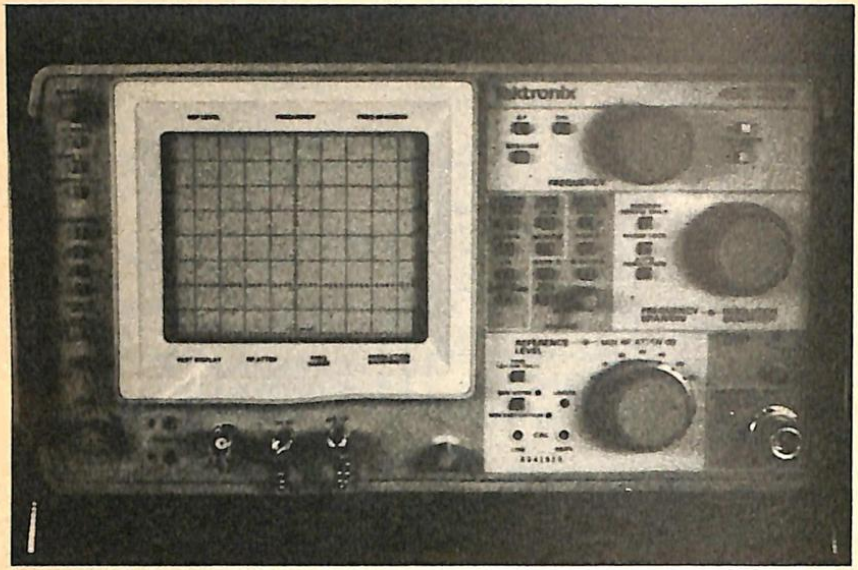


Fig. 9.-Analizzatore di spettro per effettuare misure in alta frequenza.

ni che inevitabilmente produce questa apparecchiatura, si otterranno una serie di armoniche di diversa frequenza perfettamente raccolte e visualizzate dall'analizzatore.

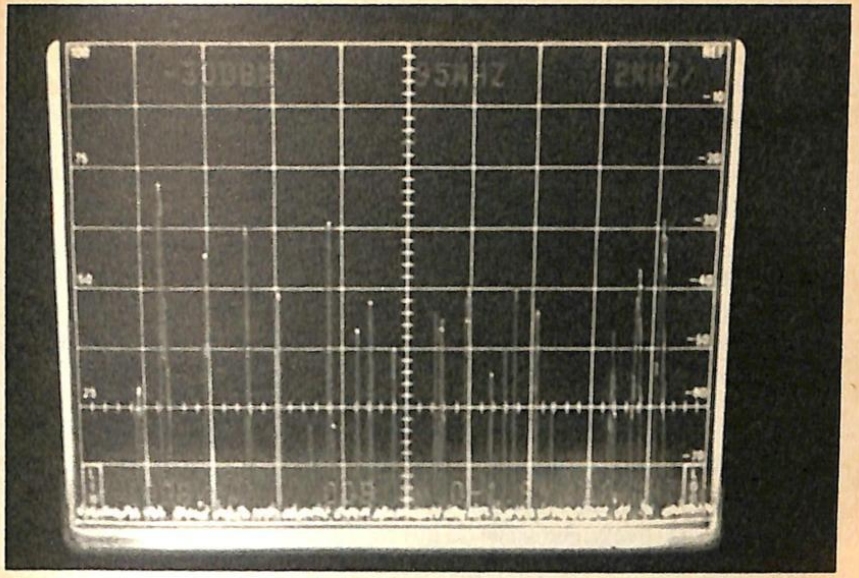
Nello stesso modo potrà indicare quale è lo spettro di frequenze di qualsiasi altro segnale: strumenti musicali, emissioni di radiodiffusione, voce umana, ecc.

La presentazione del risultato si ottiene normalmente su di uno schermo basato su un tubo a raggi catodici, nel quale le righe orizzontali rappresentano i valori di frequenza, e quelle verticali le ampiezze.

Utilizzo dell'analizzatore di spettro

Questo strumento presenta cinque controlli di base, indispensabili per effettuare qualsiasi misura, e un'altra serie di possibilità complementari che dipendono dai modelli trattati. Questi controlli sono i seguenti:

- *selezione della frequenza centrale*: con questa verrà effettuata la ricerca delle armoniche corrispondenti al segnale applicato, fino



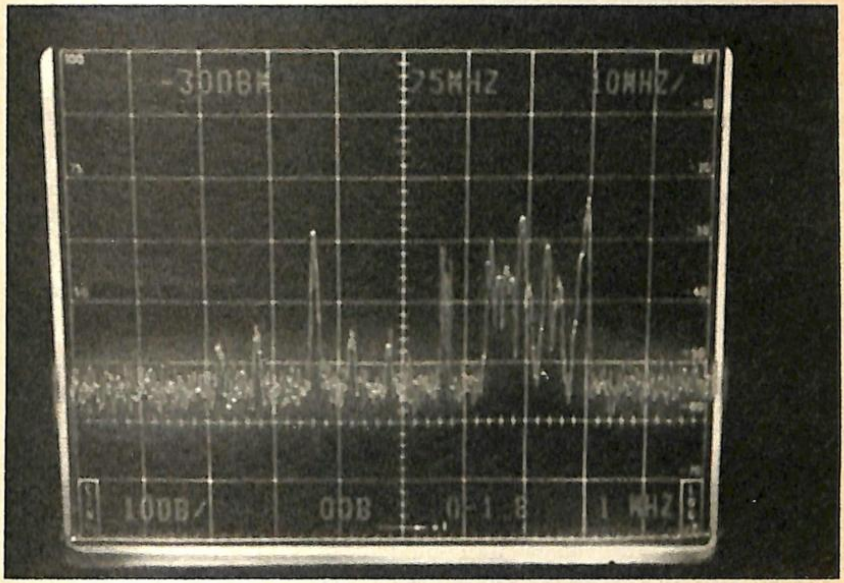


Fig. 10.-Immagini ottenute sullo schermo di un analizzatore di spettro, corrispondenti alla banda FM completa, nella quale si possono osservare le portanti delle differenti emittenti, e un canale televisivo con le sue due bande: video e audio.

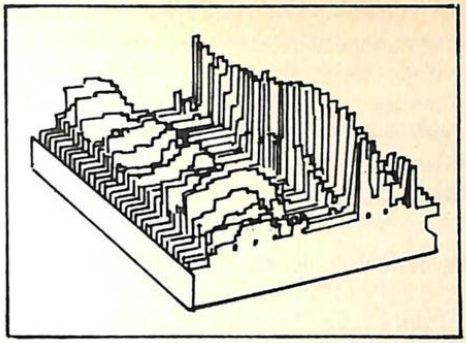
a che non appariranno sullo schermo. Normalmente si regola in un modo tale che il livello maggiore, o livello fondamentale, coincida con la linea verticale centrale del reticolo di misura, per poter determinare la sua frequenza leggendola direttamente su di una manopola calibrata, o meglio mediante la rappresentazione numerica della stessa in qualche zona dello schermo;

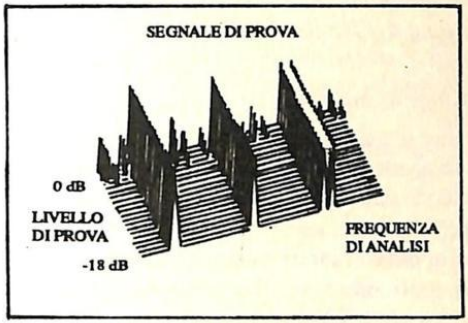
- *calibrazione orizzontale del reticolo*: con questo controllo si sceglie il margine di frequenza corrispondente allo spazio tra due linee verticali del reticolo dello schermo. Permette, pertanto, di allargare più o meno la banda totale di frequenza rappresentata. Inoltre si utilizza anche per misurare la separazione tra le differenti armoniche e quella fondamentale, o tra le stesse, senza necessità di ricorrere al controllo visto precedentemente della manopola graduata;
- *calibrazione verticale del reticolo*: serve per segnalare la differenza di livello che esiste tra due linee orizzontali dello schermo. Con questa, si potrà assegnare la scala di misura più conveniente in ciascun caso, che dipende sempre dalle caratteristiche di ampiezza del segnale applicato, così come dalla precisione e esattezza che si desidera ottenere dalla misura. Normalmente esistono due possibilità di calibrazione, una di queste è di tipo logaritmico, con il reticolo diviso in dB, e l'altra è lineare, nel qual caso la misura viene effettuata in V, con una assegnazione fissa di differenza di tensione ogni due divisioni.
- *livello di riferimento*: indica il livello preso come riferimento per la misura. Questo fattore è indispensabile, per via del fatto che il risultato si ottiene sempre in forma relativa al valore scelto con questo controllo.

Altri controlli complementari che possono presentare un certo interesse sono: il *controllo della risoluzione di banda*, che permette di discernere la composizione di una determinata armonica e dividerla in altre subarmoniche più elementari; *i filtri regolabili* per l'eliminazione del rumore; il *taglio del segnale*, con il quale si può sopprimere la visualizzazione sullo schermo della zona di minor livello di spazzolamento che effettua l'apparecchiatura.

L'ingresso del segnale esterno comprende di solito un carico interno normalizzato, per poter effettuare la misura nelle condizioni normali di lavoro dell'apparecchiatura di cui si sta analizzando l'uscita, evitando così l'apparizione di riflessi e onde stazionarie sulla linea di trasmissione che collega i due apparecchi, che porterebbe una distorsione o una inesattezza nel risultato ottenuto.

Nella maggioranza dei casi, questa impedenza è di 50 Ω, poichè coinci-





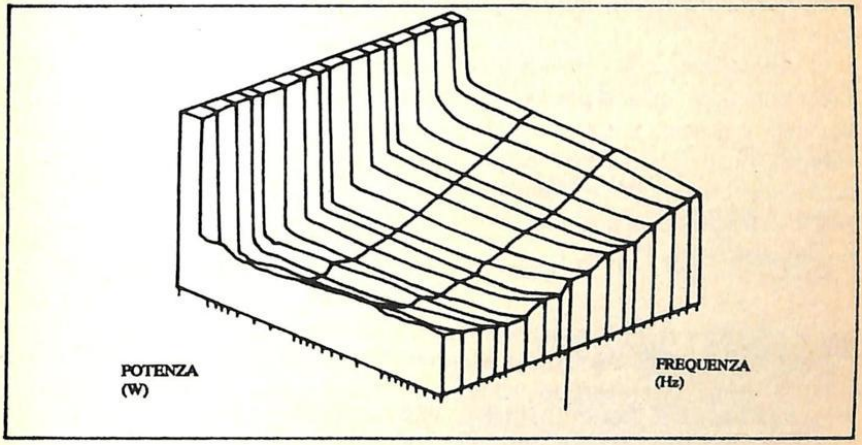


Fig. 11.-A volte sono frequenti gli spettrogrammi tridimensionali, che rapportano le variazioni di tre parametri simultaneamente.

de con l'impedenza caratteristica dei cavi e delle apparecchiature che lavorano in alta frequenza. Se lo strumento è specificamente costruito per la banda audio (da 20 Hz a 20 KHz), questa impedenza interna di carico ha un valore di 600 Ω.

Le caratteristiche normali di un analizzatore di spettro per radiofrequenza sono le seguenti:

- *intervallo di misura della frequenza*: da 50 KHz a 1000 MHz (1 GHz);
- *calibrazione della frequenza*: da 10 KHz a 200 MHz per divisione;
- *risoluzione di banda*: da 1 KHz a 1 MHz selezionabile a decadi;
- *livello di riferimento*: da -120 dBm a +40 dBm;
- *calibrazione del livello*: 10 dB/div., 2 dB/div., e 8 divisioni lineari;
- *attenuazione di ingresso*: 30 dBm.

Esistono inoltre degli strumenti chiamati *spettrografi*, che in realtà sono degli analizzatori di spettro che riportano il risultato in forma grafica (curva di distribuzione, statistica dei valori, ampiezza delle diverse componenti in funzione delle diverse frequenze, ecc.).

Determinate apparecchiature magnetofoniche e amplificatori a banda larga, incorporano degli indicatori di segnale (picco, medio o efficace) costituiti da file o barre di diodi LED o similari. In realtà si tratta di spettrometri semplificati, che forniscono l'ampiezza del segnale su valori concreti di frequenza.

Attualmente, con l'aiuto degli elaboratori, si possono ottenere grafici tridimensionali, nei quali si possono porre in relazione, per esempio, potenza, distorsione, e risposta in frequenza di un amplificatore, riportati su di un piano tridimensionale (equivalente tridimensionale della linea o curva delle variazioni a due dimensioni), e molte altre combinazioni, come la variazione dello spettro di frequenza di una nota rispetto al tempo (assi: tempo, frequenza, ampiezza) mostrata in Fig. 11.

Altoparlanti e microfoni

La stragrande maggioranza delle apparecchiature capaci di misurare alcuni parametri, o visualizzare qualche caratteristica particolare delle apparecchiature sonore, utilizzano alcuni dei metodi di base commentati.

Fanno eccezione due strumenti che non sono ancora stati citati, ma che

sono molto utilizzati. Si tratta degli *altoparalanti* e dei *microfoni*, che non solo si utilizzano come riproduttori e captatori sonori per gli hobbysti, ma anche nel campo professionale delle misure.

Gli altoparlanti possono essere utilizzati singolarmente, montati in casse acustiche adeguate, o in una configurazione tale che il suono irradiato equivale a quello che produrrà una fonte sonora perfettamente ideale. In questo ultimo caso si montano numerosi altoparlanti su di una superficie sferica fino a ricoprirla tutta. Il gruppo si comporta approssimativamente come una fonte di onde sferiche. Tale disposizione si utilizza per la prova su microfoni, di isolamento acustico di un locale, di tempo di riverbero, ecc.

La stessa cosa accade con i microfoni, la cui utilizzazione principale è di captare i suoni o il rumore nell'ambiente dove si desidera misurarli. Per questo devono presentare una risposta perfettamente accordata con la frequenza, per poterla equalizzare adeguatamente.

In funzione all'impiego a cui sono destinati, occorreranno microfoni con diverse caratteristiche direzionali. Si utilizzano per misure e prove realizzate su altoparlanti e casse acustiche, prove di riverbero e isolamento del locale, come captatori di suoni ambientali o rumori all'aria libera, per misure di livelli di sonorità, ecc.

Misure di potenza

Una misura corrente nel mondo audio è quella della *potenza*. Gli strumenti per misure di potenza utilizzati normalmente nelle apparecchiature sonore, sono in realtà dei voltmetri. Posto che l'impedenza del carico è conosciuta (quella degli altoparlanti), conoscendo entrambi i valori si può tarare lo strumento direttamente in unità di potenza.

Il procedimento di norma non è molto esatto, poichè si suppone un valore di impedenza che non sempre coincide con quello reale. Inoltre, il metodo non sempre è applicabile, perchè non sempre si conosce l'impedenza del carico, o quest'ultima è variabile.

Ma poichè non si conosce nessun altro metodo, si suppone che valga in qualsiasi circostanza.

Posto che la potenza elettrica è il prodotto tra la tensione e l'intensità di corrente applicate all'elemento utilizzatore, il metodo più appropriato è senza dubbio quello di misurarne entrambi i valori e svilupparne il prodotto.

Mentre per le misure di corrente continua il procedimento è perfettamente valido, non sempre lo è in corrente alternata, dove bisogna tenere conto degli sfasamenti introdotti dagli elementi reattivi (bobine e condensatori).

Questi effetti sono già considerati nei Wattmetri (misuratori di potenza),

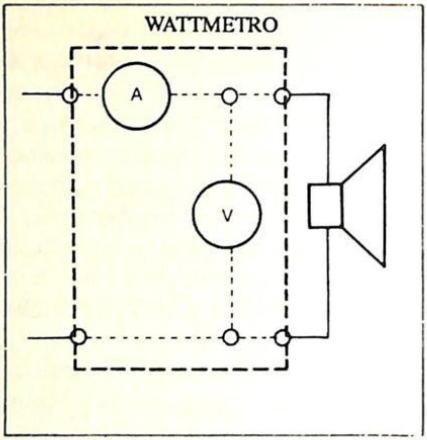


Fig. 12.-Modo corretto di collegare un wattmetro. Si deve osservare che ha quattro terminali, due per la misura della corrente e due per la misura della tensione.

che combinano correttamente i valori di tensione e di corrente misurati, e forniscono direttamente la potenza in Watt (W), o in voltampere (VA) quando si tratta di correnti alternate (Fig. 12).

Misure di distorsione

La misura della distorsione introdotta da un'apparecchiatura audio, è una delle prove più spesso realizzate su tali apparecchiature. Per questo si utilizzano i misuratori di distorsione o *distorsiometri*.

Come avevamo già detto precedentemente, un modo per riconoscere le distorsioni è quello di rilevare l'apparizione di segnali non presenti in ingresso, e la cui frequenza è un multiplo intero di quella introdotta nell'apparecchiatura sotto prova.

Il distorsiometro si pone all'uscita dell'apparecchiatura sulla quale si vuole effettuare la misura. Internamente comprende un filtro che elimina il più possibile tutta quella parte del segnale la cui frequenza risulta uguale a quella del segnale di prova introdotto all'apparecchiatura audio (Fig. 13).

Evidentemente quella che passa per il filtro sarà quella di distorsione pro-

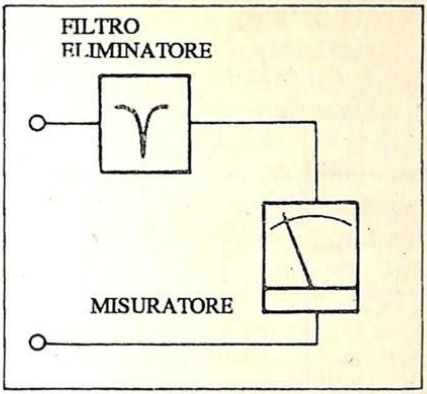


Fig. 13.-I distorsiometri eliminano la parte del segnale di uscita di un amplificatore la cui frequenza è uguale a quella di ingresso, e misurano il livello di ciò che resta. La comparazione con il livello di riferimento darà la percentuale di distorsione.

dotta dall'apparecchiatura. A questo punto basta solo misurare il livello del segnale di uscita e confrontarlo con quello di ingresso. Il risultato darà la percentuale di distorsione.

Lo stesso strumento può essere direttamente calibrato in valori percentuali.

Analizzatore audio

Quando si intende sonorizzare un ambiente (sala, discoteca, cinematografo o abitazione), per l'ascolto di programmi musicali, la prima cosa da considerare è che questa sala deve presentare una risposta lineare a tutte le frequenze udibili, in modo che non ci siano dei valori che risultino attenuati o accentuati.

La funzione principale di un *equalizzatore* consiste nel modificare leggermente la risposta in frequenza dell'apparecchiatura audio per compensare le deficienze che, inevitabilmente, tutte le sale di audizione presentano, in modo che la risposta del gruppo amplificatore-sala sia lineare.

Se ad un'apparecchiatura audio si fa riprodurre un segnale il cui spettro di frequenza è perfettamente conosciuto, e dall'altra parte si ottiene la forma

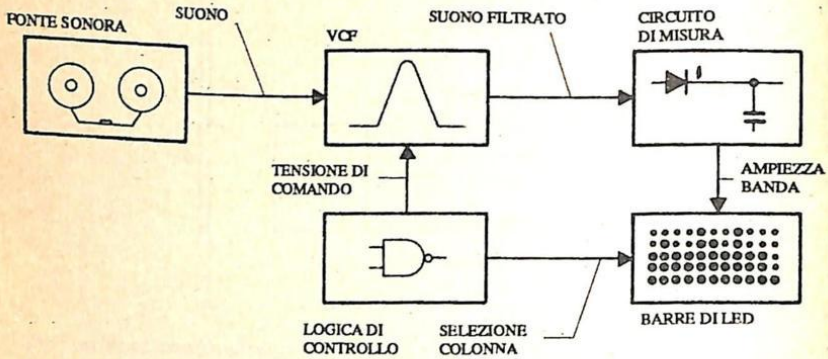


Fig. 14.-Principio di funzionamento di un analizzatore audio suddiviso a blocchi.

reale di ascolto nella sala di audizione, potranno essere introdotte le necessarie correzioni. La funzione di un analizzatore audio è precisamente quella di ottenere tale risposta in frequenza.

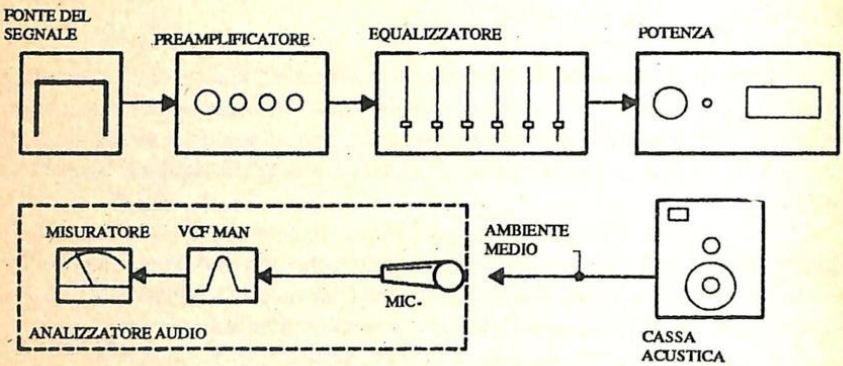


Fig. 15.-Schema di principio di una misura di risposta acustica.

Analizzatore in tempo reale

Un analizzatore che permette di conoscere in qualsiasi momento la risposta in frequenza di una sala in tutto lo spettro audio, viene definito in *tempo reale*. Sono gli analizzatori ideali, anche se sono i più complessi e costosi.

I più complessi utilizzano tecniche oscilloscopiche, per rendere visibile la risposta in frequenza. Sul canale orizzontale si ottengono i valori delle distinte frequenze (abitualmente, da 20 Hz a 20 KHz), mentre sul canale verticale vengono riportate le ampiezze dei segnali corrispondenti.

Così si può confrontare lo spettro originale con quello captato, e ricavarne la differenza.

In altre occasioni, l'analizzatore divide lo spettro completo in piccole bande (di un ottava, o meno), e media il valore delle ampiezze del segnale in queste. In questo modo si ottiene una visione ragionevolmente buona della risposta. Quanto più strette saranno le bande, più precisa risulterà la risposta ottenuta.

Questo tipo di analizzatore viene incorporato di norma in alcune apparecchiature amplificatrici. Una serie di filtri dividono lo spettro audio in 10 o più bande, visualizzando l'ampiezza relativa a ciascuna banda su di una colonna di diodi luminosi (LED). Quanto maggiore sarà il numero di quelli accesi, tanto maggiore sarà l'ampiezza del segnale nella banda di frequenza rappresentata.

Filtri divisori

La circuiteria necessaria per il funzionamento di un'analizzatore è abbastanza complessa, compreso il caso in cui si utilizzano dei filtri di banda. Grazie all'impiego di filtri controllati in tensione (VCF), costruiti sulla base di uno o più operazionali di tipo OTA, possono realizzarsi dei filtri passa-banda la cui frequenza centrale si controlla per mezzo di una tensione di comando.

In questo modo possono essere costruiti analizzatori che includono la circuiteria corrispondente in un solo filtro.

In un analizzatore di questo tipo, una determinata tensione di comando viene applicata al VCF, che si sintonizza su di una determinata frequenza. Il risultato viene inviato ad una colonna di diodi luminosi, che visualizzerà l'ampiezza del segnale a questa frequenza.

Alcuni istanti dopo, la tensione di comando viene cambiata, e il VCF si sintonizza su di una frequenza diversa. La stessa tensione di comando governa una serie di commutatori, che fanno in modo che il risultato della nuova misura sia inviato a una colona luminosa diversa.

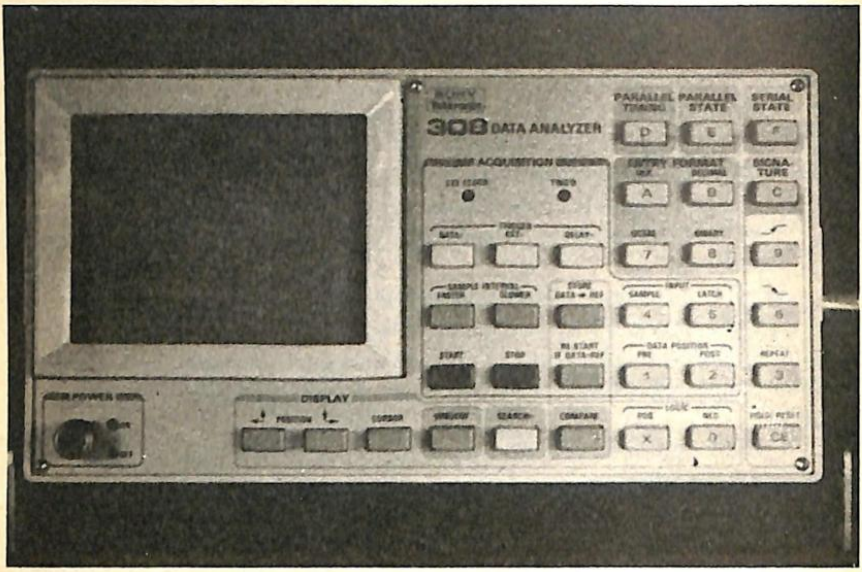


Fig. 16.-Aspetto di un analizzatore logico in un modello convenzionale, nel quale tutti i controlli si effettuano con la tastiera.

Il processo si ripete, in modo che il filtro venga sintonizzato su ciascuna delle frequenze predeterminate, e il risultato sia inviato all'indicatore luminoso corrispondente. Se il tempo assegnato a ciascuna delle letture è sufficientemente piccolo, il risultato sarà equivalente a una misura ottenuta con un analizzatore che lavora in tempo reale, ma con un notevole risparmio di circuiteria (e di prezzo!) (Fig. 14).

Analizzatori statici

Finalmente, si parla degli analizzatori che utilizzano un solo filtro che può essere sintonizzato manualmente, leggendo il risultato della misura su una colonna a diodi o su uno strumento ad ago.

In questo caso, il processo consiste nel fare in modo che l'amplificatore riproduca un certo suono, che copre completamente lo spettro audio, o solo quella banda che si sta osservando con l'analizzatore. Si otterranno delle mi-

sure successive che, una volta composte, danno l'idea della risposta globale che si cerca di conseguire (Fig. 15).

Analizzatore logico

La rapida evoluzione tecnologica dell'elettronica negli ultimi anni, e la sua tendenza verso la conversione delle funzioni convenzionalmente analogiche a tecniche digitali, ha prodotto un importante effetto sui sistemi classici di strumentazione, poichè quando si volle analizzare un'apparecchiatura nella

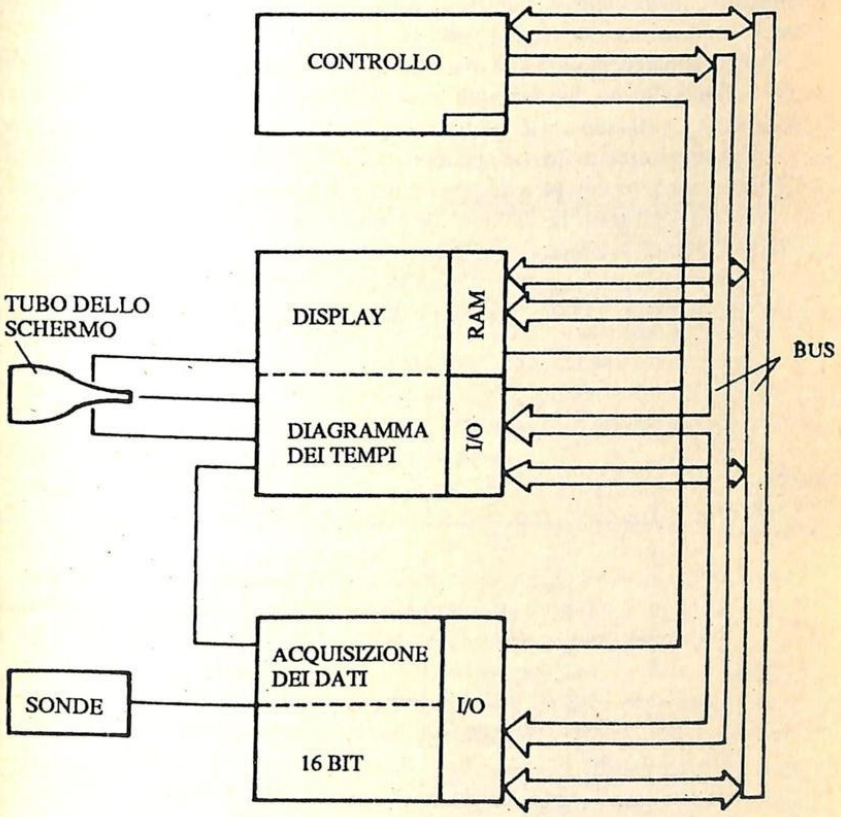


Fig. 17.-Diagramma a blocchi di un analizzatore logico.

quale esistevano varie vie simultanee di trasferimento di informazioni digitali, non risultò valido nessuno strumento conosciuto fino a quel momento, la qual cosa originò il progetto e il successivo sviluppo degli analizzatori logici.

Questi strumenti furono creati con il proposito di risolvere con un solo apparecchio la maggior percentuale possibile di analisi e verifica delle anomalie che potevano presentarsi nella pratica, evitando la necessità di dover disporre di vari strumenti collegati simultaneamente all'apparecchiatura sotto prova. In questo modo, non solo è possibile l'identificazione del guasto, ma anche l'origine dello stesso.

Gli *analizzatori logici* della prima generazione, erano costituiti principalmente da analizzatori di stati logici e disponevano unicamente di un display o visualizzatore alfanumerico, sul quale rappresentavano, nel sistema esadecimale, una serie di dati successivi prelevati dai bus dati o indirizzi del sistema digitale sottoposto a verifica, che erano stati precedentemente immagazzinati nella memoria del sistema.

Questa apparecchiatura si è evoluta rapidamente fino ai modelli attuali, che possiedono almeno due funzioni principali: *analisi degli stati logici* e *visualizzazione simultanea dei diagrammi dei tempi* di tutti gli indirizzi dei bus.

L'aspetto esterno di queste apparecchiature è molto simile a quello degli oscilloscopi, anche se con un maggior numero di comandi esterni, e la rappresentazione sia degli stati che delle forme d'onda dei bus, si ottiene mediante il tubo a raggi catodici normalmente utilizzato in questo strumento.

Il funzionamento interno dell'analizzatore è governato da un microprocessore, il quale permette una grande flessibilità nell'uso dello strumento.

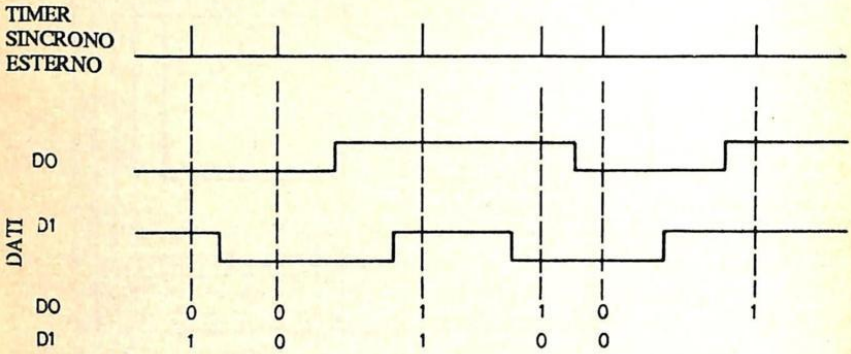


Fig. 18.-Sistema di acquisizione dati sincrono.

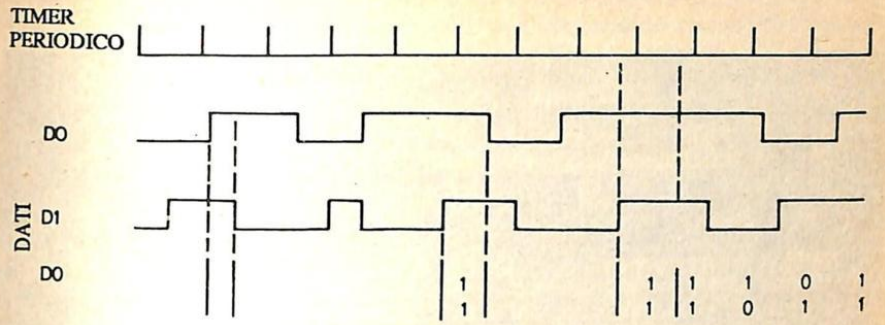


Fig. 19.-Sistema di acquisizione dati asincrono.

Composizione di un analizzatore logico

Qualsiasi analizzatore logico di questo tipo, si compone di quattro sezioni principali: *acquisizione dei dati* di misura, *memorizzazione* dei dati, sezione di *controllo*, e *visualizzazione* su uno schermo.

La sezione di acquisizione dei dati li riceve in parallelo e simultaneamente dall'apparecchiatura sotto prova, mediante una serie di sonde speciali situate nei punti adeguati. Il circuito di entrata e le sonde stesse devono avere delle caratteristiche tali che non influiscano sul funzionamento normale dell'apparecchiatura, poichè viceversa si otterrebbero delle conclusioni sbagliate, e si potrebbe danneggiare l'apparecchiatura in prova.

Questo porta ad avere una elevata impedenza di ingresso, e delle sonde molto leggere, codificate in alcuni casi con il codice colori per poterle identificare facilmente.

Un'altra delle funzioni necessarie in questa sezione di prova dei dati, è quella di disporre di un livello logico regolabile che si possa adattare alle diverse famiglie di circuiti integrati (TTL, ECL, NMOS, CMOS, ecc.).

Il numero di canali di ingresso di cui si ha necessità in pratica, varia in funzione dell'utilizzazione dello strumento. In seguito alle diverse applicazioni che si possono avere, si è pensato di standardizzare la maggior parte degli analizzatori con 16 canali, che si adattano perfettamente alla maggioranza delle applicazioni; d'altra parte, questo è un numero già sufficientemente alto di canali per il tecnico che li utilizza, e che deve assimilare correttamente tutte le informazioni che appaiono alla sua vista.

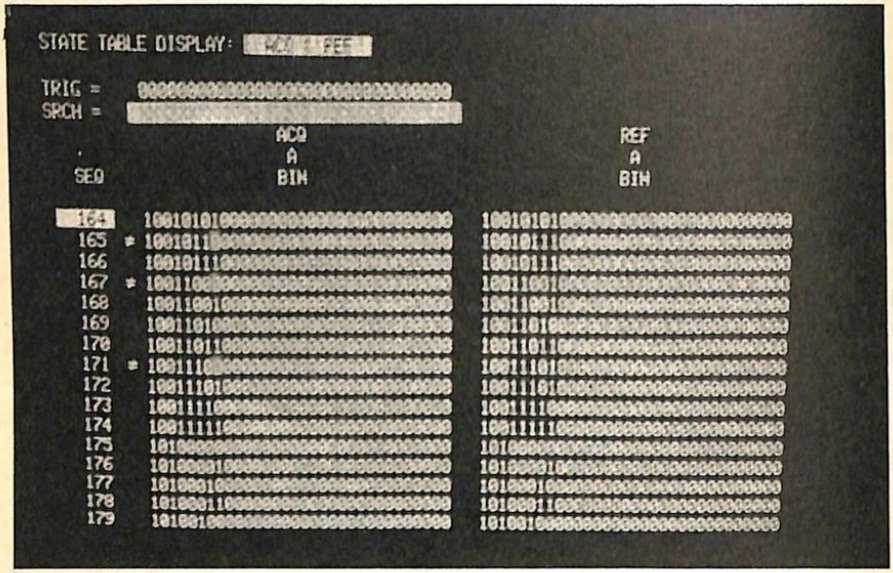


Fig. 20.-Rappresentazione di un diagramma di stati in codice binario, con il modello asincrono.

Esistono due procedimenti di acquisizione dati: sincrono e asincrono. Il primo si utilizza normalmente per effettuare le analisi degli stati logici, rappresentandoli sullo schermo nel sistema binario, ottale o esadecimale, in funzione della necessità dell'utilizzatore. In questo caso la sequenza di acquisizione dei dati dell'analizzatore, dipende dalla frequenza del timer dell'apparecchiatura sotto prova. Alcuni modelli includono due o più possibilità di acquisizione dati simultanee.

Il secondo procedimento viene utilizzato per la rappresentazione delle forme d'onda o diagrammi di tempo. In questo caso la frequenza alla quale sono prelevati i dati sarà determinata dal timer interno dell'oscillatore.

Il valore di frequenza è molto importante quando si devono catturare fenomeni transitori o rumori spuri che causano alterazioni nell'apparecchiatura; si esigono periodi di campionatura dell'ordine dei 3 ns, il che significa avere una frequenza di 300 o 400 MHz approssimativamente.

Alcuni sistemi microcomputerizzati sono dotati di un metodo di trasmis-

sione dati di tipo multiplexer, nel quale tanto i bit che gli indirizzi di memoria sono inviati sullo stesso bus, mediante un circuito divisore di tempo, che assegna dei tempi determinati di trasmissione a ciascuno dei due pacchetti di informazioni.

Questo richiede che l'analizzatore logico abbia qualche procedimento di acquisizione che garantisca che i due tipi di dati possano essere raccolti e analizzati; ciò si ottiene, nel modo sincrono, utilizzando due segnali di timer dipendenti da quello dell'apparecchiatura utilizzata. La sezione di memoria dei dati può essere considerata la più importante del sistema.

Infatti, la sua capacità dovrà essere sufficientemente ampia per poter accumulare tutti i dati simultanei prelevati dall'esterno, e sufficientemente rapida per poter elaborare i dati ottenuti, all'elevata frequenza di campionatura vista precedentemente. In realtà, anche se la frequenza necessaria è definita dal sistema di operazione asincrono, si usa stimarla di circa 10 volte superiore a quella dell'apparecchiatura sotto prova.

La capacità della memoria dipende dal modello dell'analizzatore che si ha a disposizione. In alcuni casi può arrivare a 1 Kbyte raggruppato in 512 parole da 8 bit. Con questa possibilità di memoria si possono accumulare fino a 100 periodi di informazione a 20 MHz, con una frequenza di campionatura di 100 MHz.

La sezione di controllo realizza, come funzione principale, la parità del sistema di acquisizione dati nell'istante opportuno. Il metodo che si utilizza normalmente è quello di identificare una determinata parola dell'informazione, nella quale si confrontano i dati raccolti dall'apparecchiatura con una parola di 8 o 16 bit fissata preventivamente dall'utilizzatore.

Nell'istante in cui appare una coincidenza, si produce la parità.

In alcuni modelli si possono impiegare due differenti parole, essendo questo procedimento applicabile anche quando si può dare più di una condizione di parità.

Nel momento in cui si produce la parità, si blocca l'ingresso dello strumento; tuttavia, alcuni tipi di analizzatori dispongono di un certo tempo regolabile di ritardo che permette di annullare la raccolta dei dati nell'istante che si desidera, e si può osservare sullo schermo tutta l'informazione precedente e successiva al momento in cui una determinata parola di informazione è stata riconosciuta.

La sezione incaricata della visualizzazione dei dati sullo schermo, li riceve dalla memoria e si incarica di portare a termine le due possibili rappresentazioni: tabella degli stati logici e diagrammi dei tempi.

La prima opzione produrrà sullo schermo un listato dei dati raccolti dai 16 canali di entrata, in codice binario, ottale, esadecimale e in alcuni modelli è compresa la rappresentazione in linguaggio macchina del microprocessore

utilizzato.

La rappresentazione del diagramma dei tempi non è quella di solito definita in tempo reale, che è quella corrispondente alle forme d'onda che realmente sono apparse sul bus, ma ne presenta una ricostruzione della stessa sulla base dei dati dei livelli ottenuti durante la campionatura delle differenti vie.

Se il periodo di campionatura è basso, si otterrà un'immagine molto simile a quella reale; in altre occasioni possono passare per elevate, rappresentazioni di impulsi molto brevi o alcuni rumori o fenomeni transitori, conosciuti anche con il nome di *glitches*.

Modelli più moderni

Nei modelli più moderni, è stato sostituito il complesso pannello di comando, che richiedeva una strumentazione di questo tipo, con un altro molto più semplice, in cui è presente un *menù* che riporta tutte le funzioni, compresa quella che si desidera realizzare in quel momento, grazie a un programma

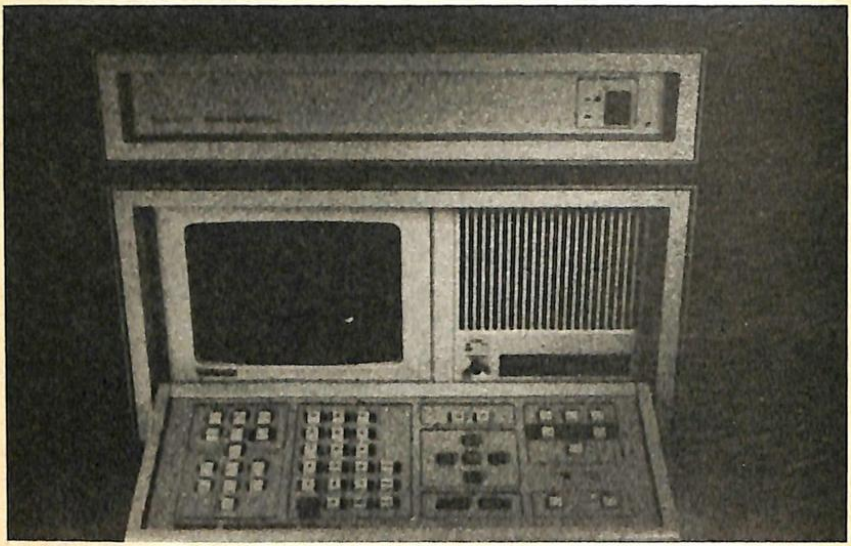


Fig. 21.-Analizzatore logico dell'ultima generazione, il cui sistema di lavoro è basato su di un menù.

contenuto nella memoria ROM interna.

In queste apparecchiature, è stato sostituito il profilo della scatola esterna, che come avevamo detto era simile a quella degli oscilloscopi, con modelli che assomigliano a quelli utilizzati nei sistemi informatici, che utilizzano, per lo schermo, un tubo a raggi catodici a deflessione elettromagnetica, come quello dei ricevitori televisivi.

Infine, si è ottenuta una miglioria nella rappresentazione dei dati sullo schermo, grazie all'utilizzo di un tubo a colori, che facilita l'identificazione di derminati dettagli dell'informazione riportata all'utilizzatore.

Chiarimenti

Che procedimento impiegano i frequenzimetri digitali per realizzare la misura della frequenza di un segnale?

Il metodo di lavoro impiegato consiste nel contare il numero di periodi o di cicli del segnale non conosciuto, durante un tempo conosciuto e molto preciso. Così, per esempio, se la frequenza ricercata è di 100 KHz e il tempo di un secondo, l'apparecchio conterà 100.000 periodi, e questo sarà il risultato che riporta all'utilizzatore.

Cosa si intende per risoluzione in un frequenzimetro?

E' la frequenza corrispondente alla cifra meno significativa del risultato ottenuto, e dipende dal tempo di accesso impiegato per effettuare la misura.

Questo significa che, se si misura una frequenza di 1,57421 Mhz in un millisecondo, il risultato ottenuto sarà di 1574 KHz, ma senza la precisione necessaria per conoscere le cifre seguenti (210).

Come si effettua la misura di un segnale applicato al frequenzimetro?

Mediante il procedimento di contare un certo numero di cicli di una frequenza conosciuta, generata internamente, durante una certa quantità di periodi del segnale da misurare, restando il resto della funzione analoga a quella della misura di frequenza.

Quale è la funzione principale di un analizzatore di spettro?

Quella di separare tutte le componenti sinusoidali o armoniche, e rappresentarle separate su di uno schermo, indicando nello stesso tempo il livello di ciascuna.

Si può utilizzare un analizzatore di spettro per effettuare misure di frequenza?

Si, poichè l'apparecchiatura dispone di una indicazione di frequenza cor-

rispondente all'armonica, che coincide con la linea verticale centrale del reticolo sullo schermo.

Di che ordine di grandezza è l'impedenza di ingresso di un analizzatore di spettro?

Al contrario degli altri strumenti, che sono caratterizzati da elevate impedenze di ingresso, l'analizzatore deve avere un valore simile a quello della linea e dell'apparecchiatura oggetto della misura, per evitare qualsiasi tipo di riflessione, che distorcerebbe il risultato della stessa.

CAPITOLO 9

GENERATORI VIDEO

Menzione a parte meritano i *generatori di segnali* per la prova e il controllo dei televisori, date le loro caratteristiche peculiari. Per questo motivo, risulta utile illustrare sommariamente come è costituito un segnale televisivo.

Segnale televisivo

Le immagini di uno schermo televisivo sono realmente formate da una serie di linee orizzontali molto vicine l'una all'altra. A loro volta, ciascuna delle linee può considerarsi formata da una serie di punti, ognuno con una propria luminosità.

Il fascio dei raggi catodici, formato nel tubo, è obbligato a percorrere ciascuna delle linee di immagine in successione. Un circuito adeguato fa sì che la sua intensità cambi in accordo alla luminosità che deve presentare ciascun punto della linea. Quando il fascio ha percorso tutte le linee da sinistra verso destra, e dall'alto verso il basso, lo si fa ritornare di nuovo al punto di inizio, e ricomincia il processo.

Lo *spazzolamento* dello schermo da parte del fascio, fa in modo che si presentino 25 immagini complete (30 nel sistema americano) per secondo, in modo che l'occhio umano sia incapace di percepire tale successione, e recepisca solo il gruppo delle successive immagini animate.

Nei sistemi televisivi, come quello adottato nella maggioranza dei Paesi Europei, si utilizzano 625 linee di immagine; da un semplice calcolo matematico si può ricavare che il tempo trascorso tra l'inizio dello spazzolamento di due linee successive non deve superare i 64 microsecondi (milionesimi di secondo).

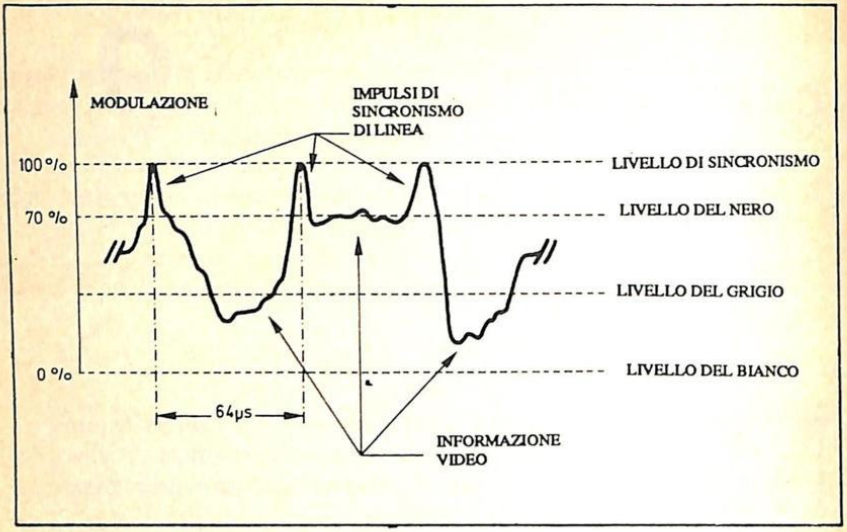


Fig. 1.-Forma del segnale TV. Due linee successive sono separate dagli impulsi di sincronismo.

Parte di questo tempo viene utilizzato per inviare i segnali di sincronismo di linea (per una linea spazzolata), e di quadro (due per immagine completa presentata), che fanno si che l'immagine cominci sempre nello stesso punto, e evitano movimenti della stessa in senso verticale e orizzontale.

Il segnale video

L'informazione presente tra gli impulsi di sincronismo, è definita *segnale video*, e la sua forma determina l'immagine che si vedrà sullo schermo. Il metodo più utilizzato negli apparecchi di misura, è quello di utilizzare un segnale quadro, con cui si visualizzano punti oscuri (poca luminosità), e chiari (molta luminosità), successivamente.

Se la frequenza del segnale quadro che forma il segnale video è molto bassa, alcune linee risulteranno scure, e le successive chiare. L'impressione visiva sarà di frange orizzontali chiare e scure alternative.

Se si aumenta la frequenza del segnale quadro, aumenterà il numero di frange orizzontali chiare e scure.

Superando un certo valore di frequenza, l'alternanza del segnale quadro

sarà tale, che all'interno della stessa linea si presenteranno punti chiari e punti scuri. Se si adottano certe precauzioni con il sincronismo, l'effetto visivo mostrato sarà di strisce chiare e scure alternate.

Combinando adeguatamente il segnale quadro con il sincronismo, si possono ottenere molte altre immagini sullo schermo; la più semplice di queste è una *scacchiera* (quadrati chiari e scuri alternati) (Fig. 2).

Allo stesso modo si possono conseguire immagini più complete, come lettere, numeri, o disegni; anche per questo è necessario l'aiuto di un piccolo microprocessore che memorizzi l'immagine desiderata.

Il generatore di segnale deve, inoltre, avere i corrispondenti segnali di sincronismo, perchè il ricevitore televisivo possa visualizzare il segnale video in modo corretto.

La portante

Tutto quello precedentemente detto corrisponde al segnale video modulato. Naturalmente deve esistere un circuito che generi il segnale portante, che sarà poi modulato adeguatamente dal video e dai sincronismi. La modulazione si realizza in *ampiezza* e in *banda laterale di traccia* (si sopprime parzialmente una delle bande laterali).

Il generatore della portante deve coprire le frequenze dei canali televisivi, un riassunto dei quali è dato nella tabella 1.

Inoltre, se il generatore di segnale video (Fig. 3) si desidera completo, deve anche essere capace di produrre il corrispondente *segnale sonoro*, che viene inviato con la propria portante (associata a quella video) che va modu-

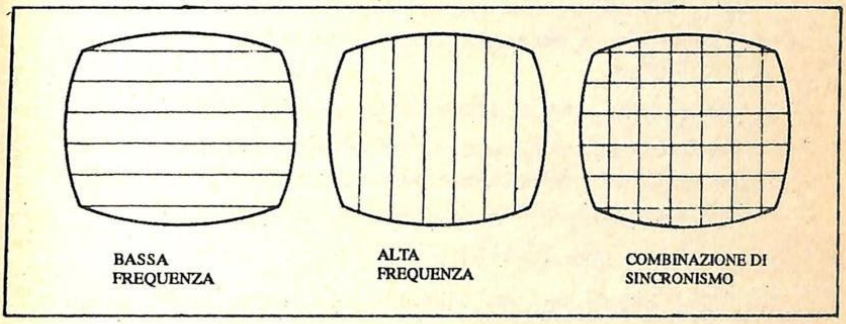


Fig. 2.-Immagini ottenute con segnali video ad onda quadra.

lata in frequenza.

I moderni generatori di banda dei televisori a colori generano, inoltre, il corrispondente *segnale di crominanza*, con il quale le bande, i quadri e le figure, possono assumere i rispettivi colori.

Abitualmente, comprenderanno anche un comando con il quale è possibile controllare la profondità della modulazione video, che visivamente corrisponde a una variazione del contrasto, con la visualizzazione di toni grigi e/o una miscela di colori.

Tabella 1. Frequenze dei canali video

Banda	*Frequenza (MHz)*	*Canali*
VHF - I	47 - 68	2 - 4
VHF - II	174 - 230	5 - 12
VHF - III	470 - 614	21 - 38
VHF - IV	614 - 862	39 - 69

Modelli commerciali

Basati su questi concetti, si possono trovare in commercio una grande varietà di modelli, da quelli più semplici, che possono considerarsi come portatili, fino a modelli che offrono una grande quantità di possibilità, generalmente orientati verso applicazioni da laboratorio.

Un generatore video del primo tipo menzionato, generalmente produce i quattro o cinque segnali fondamentali per la regolazione e la messa a punto del ricevitore televisivo, sia bianco e nero che a colori.

Questo strumento possiede le seguenti caratteristiche:

- segnale di prova video: barre colore, reticolo, cerchio, segnale del rosso al 50% della saturazione. Tutto è selezionabile da parte dell'utente;
- segnale sonoro: 1 KHz sinusoidale;
- caratteristica di uscita: portante nelle bande I, III, e IV, con sintonia esterna o interna. Decodificatore del suono a 5,54 MHz;
- rapporto tra portante video e audio: 12,5 dB;
- subportante colore: 4,43 MHz;
- livello di uscita: uguale o superiore a 10 V picco-picco;
- impedenza di uscita: 75 Ω;

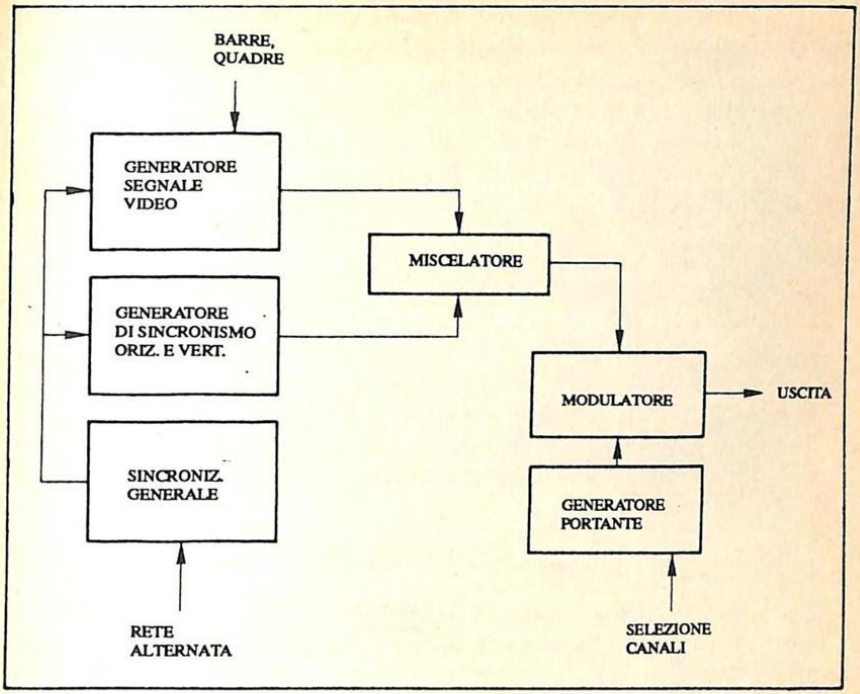


Fig. 3.-Schema funzionale di un generatore di segnali.

- modulazione della portante video: AM negativa;
- modulazione della portante audio: FM;
- frequenza di sincronismo orizzontale: 15625 Hz;
- frequenza di sincronismo verticale: 50 Hz; entrambi i sincronismi sono incrociati.

Come si può dedurre da queste caratteristiche, il generatore invierà segnali al televisore sotto prova, tramite l'ingresso di antenna dello stesso, in modo simile ai segnali normalmente raccolti dall'antenna.

In questo modo l'accoppiamento tra i due si semplifica notevolmente.

Regolazioni e verifiche

Ciascuno dei segnali video è destinato a delle regolazioni e a delle veri-

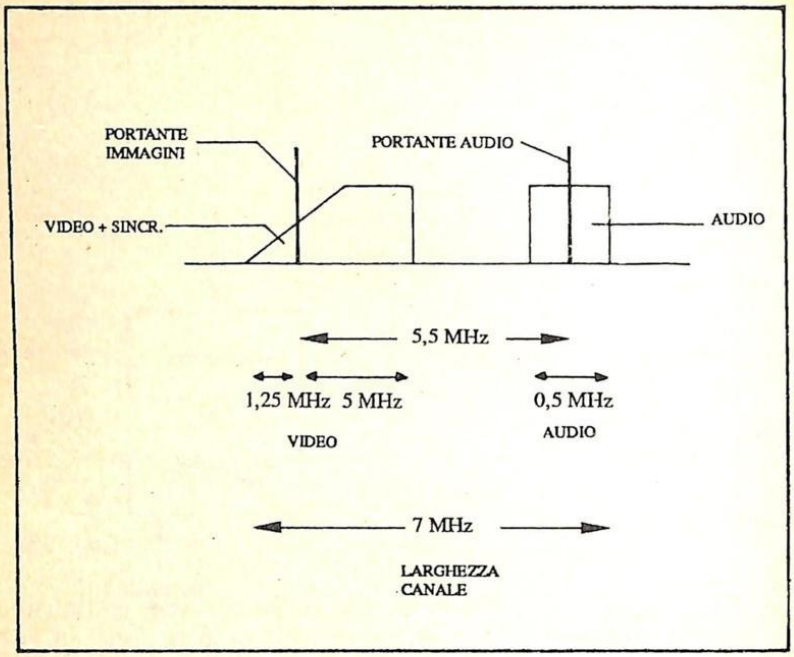


Fig. 4.-Larghezza di banda di un segnale TV modulato.

fiche concrete, che possono riassumersi nelle seguenti:

- barre colore: riproduzione dei colori di base, e combinazioni tra gli stessi - rigenerazione della subportante - circuito di identificazione PAL - circuito matrice - amplificatore del rosso, verde e blu - controllo della saturazione;
- reticolo: convergenza dinamica - correzioni Est-Ovest e Nord-Sud;
- cerchio: linearità generale - geometria generale - doppia immagine;
- segnale del colore rosso: purezza del colore - intermodulazione tra suono e subportante del colore.

Il segnale audio risulta molto utile per la regolazione di tutti gli stadi audio, così come per rivelare qualsiasi interferenza o intermodulazione tra le portanti video e audio, e tra suono e subportante del colore.

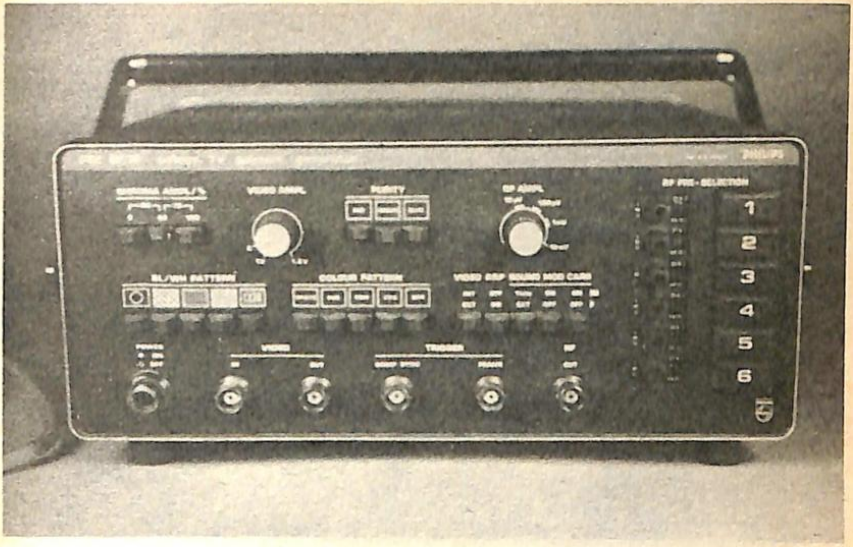


Fig. 5.-Generatore video in grado di produrre tutti i segnali per la regolazione dei televisori e delle apparecchiature di registrazione magnetica.

Generatori video più completi

Un generatore video di modello superiore al precedente, destinato fondamentalmente al laboratorio, avrà, oltre che le possibilità del modello precedente, altre funzioni con le quali si può completare l'analisi di un televisore, e di altre apparecchiature che lavorano con segnali video di base (senza portante), e per confrontare e regolare apparecchiature di registrazione magnetica (magnetoscopi e videocassette).

Prendendo come base lo strumento descritto in precedenza, quest altro può avere le seguenti caratteristiche addizionali:

- segnali di prova video: scacchiera (quadrati bianchi e neri), punti, scala dei grigi con multiburst, segnale del bianco, segnale del verde, blu e colori complementari, barre colore speciali per le videocassette.
- caratteristiche di uscita: portanti in banda I, III, IV e V, preselezionabili su diversi canali indipendenti, con sintonia elettronica (simile alla pulsantiera del selettore di canali di un televisore) -

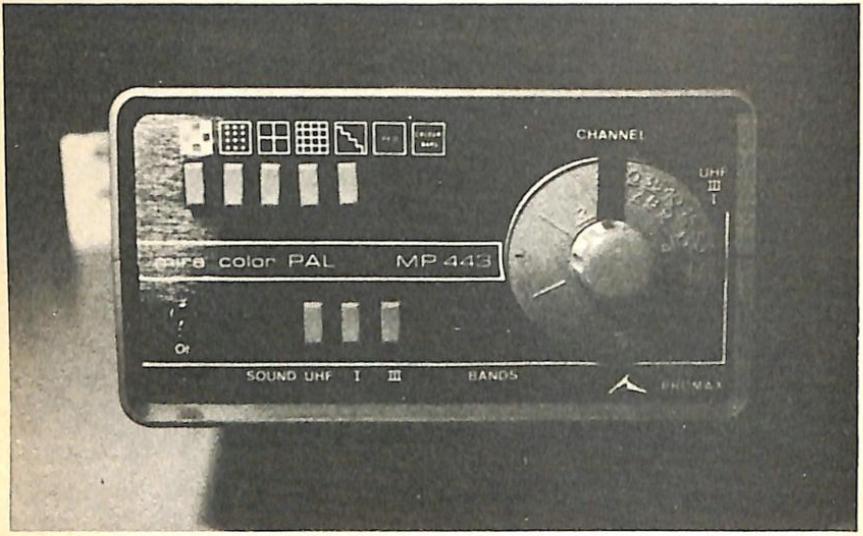


Fig. 6.-Altro tipo di generatore elettronico. Le possibilità di questo modello sono molto più ridotte rispetto a quelle del precedente.

interportante audio a 5,5 MHz, eliminabile.

- livello di uscita: variabile fino a un massimo superiore di 10 mV, con margine superiore ai 60 dB.
- ingresso del segnale video: possibilità di connessione di un segnale video esterno, come modulante della portante interna, a un livello di 1 V picco-picco.

Oltre alle possibilità inerenti all'ingresso e all'uscita video, questo strumento permette di valutare le caratteristiche di *sensibilità* di un televisore, mediante il controllo del livello di uscita del segnale. I nuovi segnali di prova sono destinati alle seguenti regolazioni:

- *scacchiera*: regolazione del fuoco del tubo a raggi catodici - controllo del sincronismo - linearità e deflessione, sia orizzontale che verticale - eliminazione del ronzio a 50 Hz dell'alimentazione;
- *punti*: convergenza statica;
- *scala dei grigi con multiburst*: questo segnale si compone di una

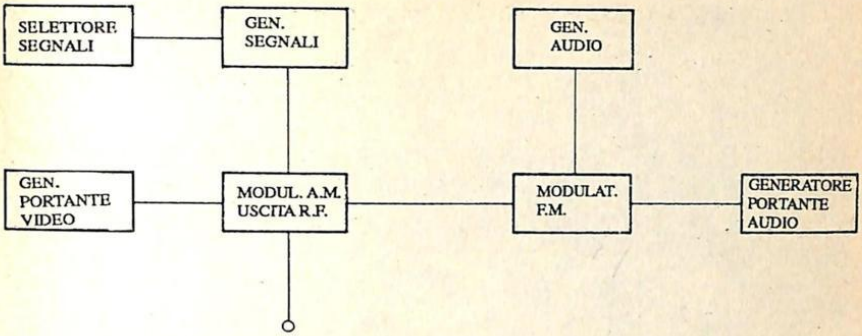


Fig. 7.-Schema a blocchi di base di un generatore video.

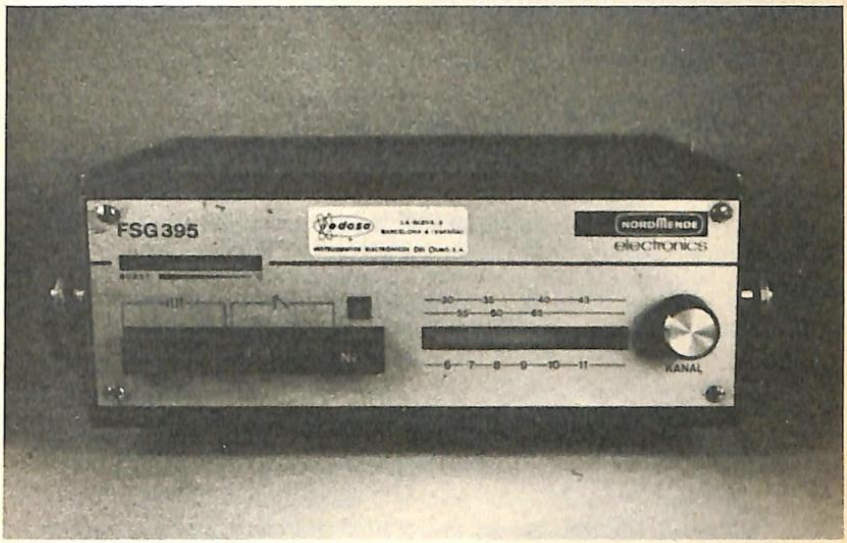


Fig. 8.-Modello molto semplificato di generatore video, con possibilità di ottenere quattro segnali di base.

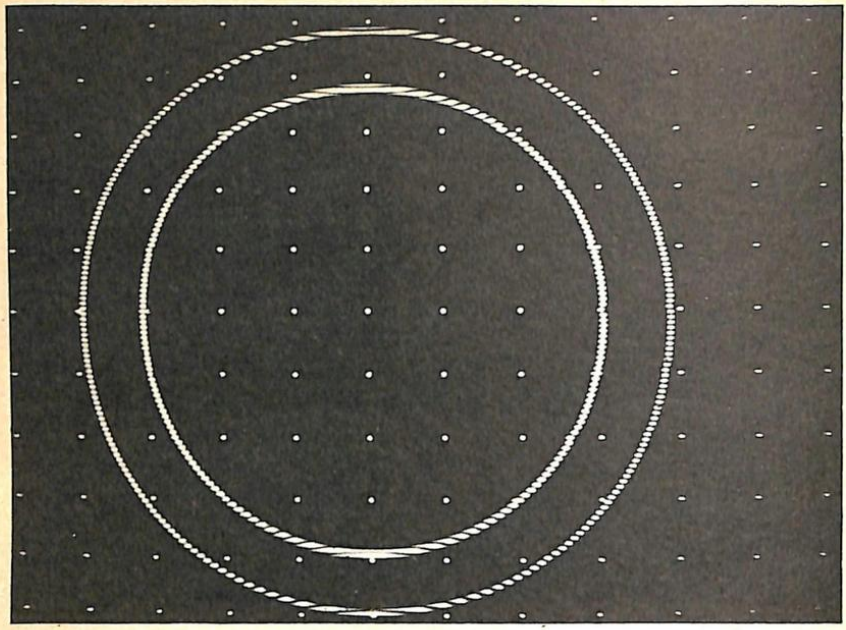


Fig. 9.-Segnale a cerchio per la regolazione della geometria.

scala di grigi dal bianco al nero, sulla quale si incontrano, sovrapposti, cinque pacchetti di distinta frequenza a 0,8, 1,8, 2,8, 3,8 e 4,8 MHz. Viene utilizzato per il controllo di luminanza e contrasto, linearità dell'amplificatore video, e analisi della risposta in frequenza;

- *segnale del bianco*: controllo del livello del bianco - corrente del fascio nel tubo;
- *segnali del verde, blu, e colori complementari*: controllo della purezza di ciascun colore di base - controllo automatico di guadagno del colore nelle videocasette - corrente di incisione nelle videocassette;
- *barre di colore speciali*: controllo della fase e dell'ampiezza nella linea di ritardo PAL - commutatore PAL - oscillatore della subportante;
- *segnale composto per videocassette*: linearità dell'amplificatore di crominanza - sensibilità dell'amplificatore dei colori - risoluzione delle videocassette - regolazione del livello del bianco.

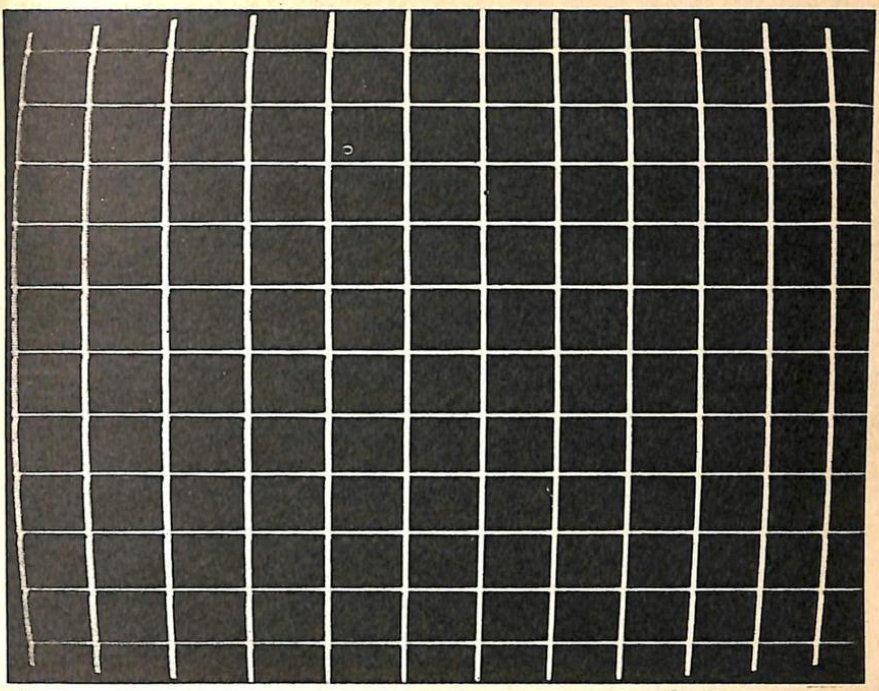


Fig. 10.-Segnale a reticolo destinato alla verifica della convergenza.

Questa apparecchiatura permette, se si osservano le caratteristiche precedenti, una completa analisi, regolazione e messa a punto di qualsiasi ricevitore televisivo o sistema di registrazione magnetica, sia che si lavori con segnali a radiofrequenza (portante modulata con il segnale base), sia nel caso di trattamento dei segnali video diretti.

Chiarimenti

Perchè si utilizzano i generatori video?

Per disporre di un gruppo di segnali preparati per effettuare una completa analisi e messa a punto delle apparecchiature che lavorano a video, con i quali si possono determinare aspetti, quali le immagini di un televisore o monitor, fino alle caratteristiche di risposta in frequenza del sistema di trasmissione.

Tabella 2. Differenti prove che si possono effettuare con un generatore video

SEGNALE	*VERIFICHE*		
	TELEVISORE B/N	*TELEVIS. COLORI*	*VIDEOCASSETTE*
cerchio	linearità geometria doppia immagine	linearità geometria doppia immagine	-
scacchiera	fuoco sincronismo linearità deflessione ronzio di rete	fuoco sincronismo linearità deflessione ronzio di rete	transizione B/N
punti	-	convergenza statica	-
reticolo	-	convergenza dinamica correzione E/O correzione N/S	convergenza dinamica
scala dei grigi con multiburst	controllo della luminosità e del contrasto risposta in frequenza linearità dell'amplificatore video	controllo della luminosità e del contrasto risposta in frequenza linearità dell'amplificatore video	risposta in frequenza linearità dell'amplificatore video
segnale del bianco	livello del bianco	livello del bianco corrente del fascio	livello del bianco e corrente di registrazione
colori primari e complementari	-	purezza intermodulazione tra suono e subportante	intermodulazione tra suono e subportante controllo automatico di guadagno del colore

Tabella 2. Differenti prove che si possono effettuare con un generatore video

SEGNALE	VERIFICHE		
	TELEVISORE B/N	TELEVIS. COLORI	VIDEOCASSETTE
barre colore speciali	-	fase e ampiezza della linea di ritardo PAL commutatore PAL oscillatore della subportante	-
segnale composto per videocassette	-	linearità dell'amplificatore di crominanza	linearità dell'amplificatore di crominanza sensibilità dell'amplificatore colore risoluzione regolazione del livello del bianco
barre colore	-	colori di base e combinazioni rigenerazione della subportante circuito di identificazione PAL circuito matrici amplificatori RGB controllo della saturazione ritardi tra il bianco il nero e il colore	controllo della saturazione ritardo tra il bianco il nero e il colore

Quali sono i segnali di base per la regolazione di un ricevitore televisivo?

Barre colore con saturazione del 75%, reticolo, cerchio e segnale di uno dei colori primari per la regolazione della purezza, preferibilmente il rosso.

Che caratteristiche ha il segnale di uscita di un generatore video?

Il segnale ottenuto all'uscita di un generatore video è molto simile a quello che invia l'emittente televisiva; si dice composto da una portante video modulata in ampiezza, che comprende l'informazione colore tramite la subportante, e una portante audio separata dalla precedente di 5,5 MHz, normalmente modulata in FM con il segnale sinusoidale di 1 KHz.

Che tipi di segnali si usano normalmemte per il controllo e la regolazione della convergenza nei tre fasci colore sullo schermo, sia nell'aspetto statico che nell'aspetto dinamico?

Per la convergenza si utilizza il segnale del reticolo, che forma linee incrociate orizzontali e verticali, e nel caso della convergenza statica si utilizzano dei punti, i quali normalmente coincidono con i segnali a croce delle linee precedenti.

Esiste qualche segnale di regolazione speciale per apparecchiature di registrazione video?

Oltre i segnali di tipo generale, che possono essere utilizzati per queste apparecchiature, ne esiste un altro che produce un test di regolazione, con informazioni sufficienti per verificare differenti caratteristiche proprie del magnetoscopio e delle videocassette, evitando di dover impiegare numerosi segnali diversi.

LIBRI DI BASE
ELETTRONICA
GRUPPO EDITORIALE JACKSON

DIRETTORE RESPONSABILE: Paolo Reina
DISTRIBUZIONE: Sodip S.p.A. - Milano
Spedizione in abb. postale gruppo II/70
Aut. N. 793 del 30/11/87

L. 4.500
Frs. 6,75
N.11

Se hai l'esigenza di conoscere per costruire tutto sull'elettronica, il Gruppo Editoriale Jackson ti propone i nuovi:

"Libri di Base Elettronica",

20 preziose guide attraverso circuiti, componenti, grafici, fotografie e soprattutto innumerevoli idee per scatenare la tua fantasia con progetti collaudati e di immediata realizzazione.

DELLA STESSA COLLANA FANNO PARTE :

E1 - ELETTRONICA IN AUTO
E2 - LABORATORIO
E3 - AMPLIFICATORI OPERAZIONALI
E4 - VIDEOREGISTRATORI
E5 - REALIZZAZIONI PRATICHE
E6 - COMPONENTI DI BASE
E7 - ANTENNE CENTRALIZZATE
E8 - COMANDI A DISTANZA
E9 - SEMICONDUTTORI
E10 - MOTORINI ELETTRICI
E11 - STRUMENTI DI MISURA
E12 - TECNICHE PRATICHE PER L'HOBBISTA
E13 - USO DELL'OSCILLOSCOPIO
E14 - ANTENNE RICEVENTI E TRASMITTENTI
E15 - CIRCUITI INTEGRATI
E16 - ELETTRONICA DI POTENZA
E17 - MICROPROCESSORI
E18 - ELETTRONICA E MEDICINA
E19 - APPARECCHIATURE HI - FI
E20 - ROBOTICA

Come si può arrivare al punto ottimale di funzionamento di una apparecchiatura? Questa domanda ammette una sola risposta: con uno strumento di misura. In pratica, la discussione è volta a decidere quale o quali sono gli strumenti più adatti per una determinata regolazione. E' evidente che, quanto più completo è lo strumento, tanto più perfetta sarà la regolazione. In questo libro si vedrà che non sempre è necessario avere a disposizione un laboratorio di misure completo, per ottenere delle buone regolazioni. E' garantito che, nel 90% dei casi, tali regolazioni si possono effettuare con l'aiuto di un semplice tester, che viene consigliato a tutti coloro che intendono avvicinarsi, anche superficialmente, al mondo dell'elettronica.

In altri casi, verranno fornite informazioni sul funzionamento e sull'utilizzo di altre apparecchiature di misura, quali i generatori di segnali, i distorsiometri, i registratori, ecc., e sulle loro applicazioni più comuni.

Senza dubbio però, quanto più completa è la strumentazione dell'appassionato, più complete e perfette risulteranno le misure e le regolazioni effettuate, applicando naturalmente le metodologie adeguate, che verranno esplicate durante la trattazione.